三菱PLC基础与系统设计

SANLING PLC JICHU YU XITONG SHEJI

刘艳梅 陈震 李一波 席剑辉 等编著

第2版







本书附电子课件

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

VISIT…

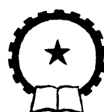
LANZAROTE

Caliente.com

三菱 PLC 基础与系统设计

第 2 版

刘艳梅　陈　震　李一波　席剑辉　等编著



机 械 工 业 出 版 社

三菱公司生产的超小型、小型系列可编程序控制器（PLC）产品，在我国电气自动化控制系统中有着广泛的应用。本书选择比较有代表性的三菱 FX_{2N}系列 PLC 进行讲述，详细介绍了 PLC 的产生、工作原理、硬件结构和编程元件，通过大量的例程介绍了 PLC 的指令系统、梯形图的经验设计法和顺序控制设计法，通过实例介绍了 PLC 系统设计与编程的基本方法、提高系统可靠性和降低硬件费用的方法，以及 PLC 在逻辑控制、模拟量控制等方面的应用。书中还介绍了 PLC 的网络与通信、编程器和编程软件的使用方法等。

本书着重于 PLC 的基础和实际应用技术，既可作为工业控制系统运行维护人员、工程技术人员的培训教材及日常工作中的参考用书，又可作为高等院校电气工程自动化技术、工业自动化技术、生产过程自动化技术、工业自动化仪表与应用专业及相关专业的教材或教学参考书。

图书在版编目（CIP）数据

三菱 PLC 基础与系统设计/刘艳梅等编著 .—2 版 .—北京：机械工业出版社，2012.12

ISBN 978-7-111-40557-3

Ⅰ.①三…　Ⅱ.①刘…　Ⅲ.①PLC 技术　Ⅳ.①TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 283362 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号　邮政编码 100037）
策划编辑：张俊红　责任编辑：张俊红　版式设计：闫玥红
责任校对：肖　琳　封面设计：马精明　责任印制：乔　宇
北京机工印刷厂印刷（三河市南杨庄国丰装订厂装订）
2013 年 1 月第 2 版第 1 次印刷
184mm × 260mm · 20.5 印张 · 509 千字
0 001—4 000 册
标准书号：ISBN 978-7-111-40557-3
定价：49.80 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务	网络服务
社服务中心：(010)88361066	教材网：http://www.cmpedu.com
销售一部：(010)68326294	机工官网：http://www.cmpbook.com
销售二部：(010)88379649	机工官博：http://weibo.com/cmp1952
读者购书热线：(010)88379203	**封面无防伪标均为盗版**

前　　言

可编程序控制器（PLC）是以计算机技术为核心的通用工业自动化装置，它将传统的继电器控制系统与计算机技术结合在一起，具有高可靠性、灵活通用、易于编程、使用方便等特点，因此近年来在工业自动控制、机电一体化、改造传统产业等方面得到了广泛的应用，被誉为现代工业生产自动化的三大支柱之一。

本书将从实际应用的角度出发，针对 PLC 所涉及的有关技术，全面系统地介绍 PLC 的各方面知识。本书选择了功能较为齐全、具有一定代表性的日本三菱公司的 FX_{2N}型 PLC 进行介绍，全书可以分为 4 个部分：第 1 部分为 PLC 的基本知识部分，主要内容包括 PLC 的概述、工作原理、硬件结构、编程元件、指令系统和程序设计方法；第 2 部分为 PLC 系统设计部分，主要介绍了控制系统设计和调试的方法以及提高系统可靠性和降低硬件费用的方法；第 3 部分为应用部分，重点讨论了 PLC 在逻辑控制、模拟量控制以及连网通信等方面的应用；第 4 部分主要讨论了 PLC 的编程器和编程软件的使用方法等。

本书总结了作者多年的教学和实践经验，由浅入深，注重应用，力求通俗易懂。全书特别注意基本理论系统性与工程实用性的有机结合，重点是强调 PLC 的实际应用。本书实用性强，内容全面，可以使读者快速全面地掌握 PLC 的相关知识；并且为满足应用型人才培养的需要，在内容上不仅注意加强系统性，又强调理论紧密联系实际，介绍了大量的新产品和新技术，针对性强、实践性强。本书在文字表述上力求浅显易懂、图文并茂，为便于各位老师的教学工作，特配有电子课件，凡单次购买本书 30 册及以上作为教材的老师，均可凭证明索取本书电子课件，联系方式为 buptzjh@ 163. com。

本书主要由刘艳梅、陈震、李一波和席剑辉共同编写，其中第 1 章由沈阳航空航天大学自动化学院席剑辉编写，第 2 ~7 章由沈阳航空航天大学自动化学院刘艳梅编写，第 8、9 章由辽宁省送变电工程公司陈震编写，第 10 章由沈阳航空航天大学自动化学院李一波编写，附录部分由东北大学网络学院刘艳慧编写。在本书编写的过程中，沈阳航空航天大学自动化学院邱楠和孙慧敏，东软集团公司杨金柱，作者的同行和朋友渠莉娜、王志强、姜宇柏、程显奎、杜平、张博、唐喜燕、姜海亭和杜强也参与本书部分内容的编写工作。另外，作者在编写本书的过程中参考了不少专家和学者的著作、学术论文和经验总结等，在此对他们表示最诚挚的谢意！由于有些资料、学术论文和经验总结等未能找到出处，因此未能在参考文献中列出，这里表示深深的歉意！

限于作者的理论水平和实际开发经验，书中难免存在一些不足之处或错误，敬请广大读者和相关专家批评指正。

作　者

目　　录

前言

第 1 章　PLC 概述 …… 1
1.1　PLC 的产生 …… 1
1.2　PLC 的特点 …… 3
1.3　PLC 的分类 …… 6
1.4　PLC 的功能和应用 …… 8
1.5　PLC 的发展 …… 9
1.5.1　PLC 的发展历史和趋势 …… 9
1.5.2　PLC 的发展概况 …… 11
1.6　PLC 与微型计算机及继电器-接触器控制系统的区别 …… 11
1.6.1　PLC 控制系统与微型计算机控制系统的区别 …… 11
1.6.2　PLC 与继电器-接触器控制系统的区别 …… 13

第 2 章　PLC 的组成和工作原理 …… 17
2.1　PLC 的组成 …… 17
2.1.1　PLC 的硬件组成 …… 17
2.1.2　PLC 的软件组成 …… 20
2.2　PLC 各组成部件 …… 22
2.2.1　各部件主要作用 …… 22
2.2.2　CPU …… 23
2.2.3　存储器 …… 24
2.2.4　PLC I/O 接口 …… 26
2.2.5　PLC 的外部设备 …… 31
2.2.6　电源 …… 32
2.2.7　其他模块 …… 32
2.3　PLC 常用外部器件 …… 34
2.3.1　常用输入设备 …… 34
2.3.2　常用输出设备 …… 36
2.4　PLC 的工作原理 …… 37
2.4.1　PLC 的工作方式 …… 37
2.4.2　PLC 的工作过程和特点 …… 39
2.5　PLC 的编程语言 …… 41
2.5.1　编程语言的特点 …… 41
2.5.2　编程语言的形式 …… 41
2.6　PLC 的扫描周期和响应时间 …… 48
2.6.1　PLC 的 I/O 响应时间 …… 48
2.6.2　PLC 串行工作方式带来的特殊性 …… 49

第 3 章　三菱 FX 系列 PLC …… 51
3.1　三菱 FX 系列 PLC 概述 …… 51
3.1.1　三菱 FX 系列 PLC 简介 …… 51
3.1.2　FX 系列 PLC 型号名称的含义 …… 54
3.2　FX_{2N} 系列 PLC 硬件配置 …… 55
3.2.1　FX_{2N} 系列 PLC 简介 …… 55
3.2.2　FX_{2N} 系列 PLC 的基本单元 …… 57
3.2.3　FX_{2N} 系列 PLC 的 I/O 扩展单元和扩展模块 …… 61
3.2.4　FX_{2N} 系列 PLC 的特殊功能模块 …… 64
3.2.5　FX 系列 PLC 的编程器及其他外部设备 …… 70
3.3　PLC 的技术性能指标 …… 73
3.4　PLC 的编程方式 …… 75
3.5　FX 系列 PLC 的编程元件 …… 77
3.5.1　软元件及编号 …… 77
3.5.2　输入继电器 …… 80
3.5.3　输出继电器 …… 81
3.5.4　辅助继电器 …… 82
3.5.5　状态继电器 …… 85
3.5.6　定时器 …… 86
3.5.7　计数器 …… 89
3.5.8　数据寄存器 …… 94
3.5.9　变址寄存器 …… 96
3.5.10　指针 …… 96

第 4 章　PLC 基本指令 …… 98

4.1　FX 系列 PLC 的基本指令 …………… 98
4.1.1　LD、LDI、OUT 指令 …………… 98
4.1.2　AND、ANI 指令 …………… 101
4.1.3　OR、ORI 指令 …………… 103
4.1.4　LDP、LDF、ANDP、ANDF、ORP、ORF 指令 …………… 105
4.1.5　ANB、ORB 指令 …………… 108
4.1.6　MPS、MRD、MPP 指令 …………… 112
4.1.7　MC、MCR 指令 …………… 118
4.1.8　PLS、PLF 指令 …………… 121
4.1.9　SET、RST 指令 …………… 124
4.1.10　INV 指令 …………… 126
4.1.11　NOP、END 指令 …………… 128
4.2　FX 系列 PLC 的基本指令汇总 …………… 129
4.3　基本逻辑指令典型应用程序 …………… 131
4.3.1　产生脉冲的程序 …………… 131
4.3.2　典型的控制程序 …………… 132
4.4　基本逻辑指令应用实例 …………… 135
4.4.1　点动定时器 …………… 136
4.4.2　锅炉点火和熄火控制 …………… 136
4.4.3　交通信号灯控制 …………… 137
4.4.4　电动机正反转控制 …………… 138
4.4.5　交流电动机直接起动 …………… 140
4.4.6　异步电动机减压起动 …………… 141
4.5　梯形图编程注意事项 …………… 144
4.5.1　梯形图编程的基本规则 …………… 144
4.5.2　梯形图编程技巧 …………… 144

第 5 章　步进指令及状态编程法 …………… 147
5.1　步进顺序控制与顺序功能图 …………… 147
5.1.1　顺序控制 …………… 147
5.1.2　顺序功能图的设计 …………… 148
5.2　顺序功能图的组成和分类 …………… 149
5.2.1　顺序功能图的组成结构 …………… 149
5.2.2　顺序功能图的主要类型 …………… 152
5.3　顺序控制梯形图的编程方法 …………… 158
5.3.1　使用起、保、停电路单序列的编程方法 …………… 158
5.3.2　使用起、保、停电路的选择序列结构的编程方法 …………… 160
5.3.3　使用起、保、停电路的并行序列结构的编程方法 …………… 161
5.3.4　以转换为中心的编程方法 …………… 161
5.4　步进指令和步进梯形图 …………… 165
5.4.1　步进指令 …………… 165
5.4.2　步进指令的使用说明 …………… 167
5.4.3　状态转移图与梯形图的转换 …………… 168
5.5　步进梯形指令的应用 …………… 169
5.5.1　步进梯形指令的单序列结构的编程 …………… 169
5.5.2　步进梯形指令选择序列结构的编程 …………… 171
5.5.3　步进梯形指令并行序列结构的编程 …………… 171
5.6　步进顺序控制编程实例 …………… 174
5.6.1　简易机械手的控制 …………… 174
5.6.2　气动机械手的控制 …………… 178

第 6 章　PLC 功能指令 …………… 182
6.1　功能指令的基础知识 …………… 182
6.2　FX 系列 PLC 的功能指令 …………… 184
6.2.1　程序流程控制指令 …………… 184
6.2.2　传送与比较指令 …………… 190
6.2.3　四则运算指令 …………… 198
6.2.4　循环与移位指令 …………… 202
6.2.5　数据处理指令 …………… 205
6.2.6　高速处理指令 …………… 210
6.2.7　其他功能指令 …………… 214
6.3　功能指令的应用举例 …………… 226

第 7 章　PLC 控制系统设计 …………… 230
7.1　PLC 控制系统设计内容 …………… 230
7.1.1　PLC 控制系统设计的基本内容 … 230
7.1.2　PLC 控制系统设计的一般步骤 … 230
7.2　PLC 的选型和系统设计的要点 …………… 233
7.2.1　PLC 的选型 …………… 233
7.2.2　PLC 系统设计的要点 …………… 234
7.3　PLC 系统程序的设计方法 …………… 239
7.3.1　替代设计法 …………… 239
7.3.2　逻辑代数设计法 …………… 239
7.3.3　程序流程图设计法 …………… 240
7.3.4　功能模块设计法 …………… 241
7.4　PLC 的安装 …………… 242

7.4.1 PLC 的安装环境 …………………… 242
7.4.2 PLC 系统的接线 …………………… 243
7.4.3 PLC 系统的安装与布线 ………… 248
7.5 PLC 控制系统故障检测与处理 ……… 249
7.5.1 PLC 的系统故障原因 …………… 249
7.5.2 PLC 系统故障的判断 …………… 250
7.5.3 PLC 系统故障的检测 …………… 252
7.5.4 提高 PLC 系统可靠性的方法 …… 253
7.5.5 故障检测的设计实例 …………… 256

第 8 章 PLC 的应用实例 ………………… 258
8.1 PLC 在开关量逻辑控制系统中的应用 ……………………………………… 258
8.1.1 液体混合控制 …………………… 258
8.1.2 糖化系统控制 …………………… 259
8.2 PLC 用于模拟量的控制 ……………… 260
8.2.1 模拟量输入模块 ………………… 260
8.2.2 模拟量输出模块 ………………… 261
8.2.3 模拟量模块使用 ………………… 262
8.2.4 编程举例 ………………………… 263
8.3 PLC 用于数控机床控制 ……………… 264
8.3.1 数控机床 PLC 的形式 …………… 264
8.3.2 数控机床 PLC 的 I/O 信号 ……… 266

第 9 章 PLC 的网络及通信 …………… 269
9.1 PLC 的通信网络概述 ………………… 269
9.1.1 数据通信基本概念 ……………… 269
9.1.2 PLC 常用的通信介质 …………… 270
9.2 PLC 的通信及连网 …………………… 272
9.3 PLC 与上位机的通信 ………………… 273
9.3.1 PLC 与上位机的通信接口 ……… 273
9.3.2 PLC 与上位机的通信实现 ……… 275
9.3.3 PLC 与 PC 的通信………………… 277
9.4 PLC 的典型网络 ……………………… 279
9.4.1 PLC 的网络 ……………………… 279
9.4.2 PLC 的远程 I/O 通信 …………… 282

第 10 章 PLC 编程器与编程软件使用方法 ……………………………… 287
10.1 PLC 编程器及其使用………………… 287
10.2 FXGPWIN 编程软件的使用 ………… 294
10.2.1 FXGPWIN 编程软件的使用概述……………………………… 294
10.2.2 程序的编写……………………… 297
10.2.3 软元件的监控和强制执行……… 298
10.2.4 梯形图常用项具体操作………… 299
10.3 GPP 编程软件的使用………………… 302
10.3.1 软件的基本概况………………… 302
10.3.2 梯形图的编写…………………… 303
10.3.3 程序的传输、调试……………… 304

附录 ……………………………………… 307
附录 A FX_{2N}系列 PLC 软元件一览表……… 307
附录 B 基本指令一览表 ………………… 308
附录 C 应用指令一览表 ………………… 309
附录 D FX 系列 PLC 指令执行时间一览表 ………………………………… 315

参考文献 ………………………………… 322

第 1 章　PLC 概述

1.1　PLC 的产生

20 世纪 60 年代，计算机技术已开始应用于工业控制了。但由于计算机技术本身的复杂性、编程难度高、难以适应恶劣的工业环境以及价格昂贵等原因，它未能在工业控制中广泛应用。当时的工业控制，主要还是以继电器-接触器组成的控制系统。

20 世纪 60 年代以前，自动控制最先进的装置就是继电控制盘，它对当时的生产力发展确实发挥了很大的作用。但是，以继电器为核心器件的自动顺序控制系统有许多固有的缺陷：

1）系统利用布线逻辑来实现各种控制，需要使用大量的机械触点，系统运行的可靠性差；

2）当生产的工艺流程改变时要改变大量的硬件接线，为此要耗费许多人力、物力和时间；

3）功能局限性大；

4）体积大、功耗多。

传统的继电器控制系统如图 1-1 所示。

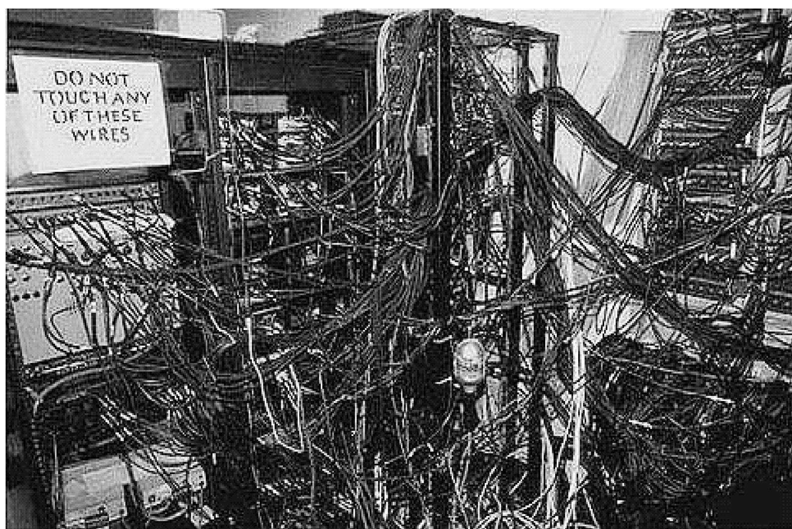


图 1-1　传统的继电器控制系统

20 世纪 60 年代，在世界性技术改造浪潮的冲击下，要求寻找一种比继电器更可靠、功能更齐全、响应更快的新型工业控制器。1968 年，美国最大的汽车制造商——通用汽车（General Motors，GM）公司，为适应汽车产品的不断翻新，试图寻找一种新型的工业控制器，以尽可能避免重新设计和更换继电器控制系统的硬件及接线，减少时间，降低成本。因

而设想把计算机的完备功能、灵活及通用等优点和继电器控制系统的简单易懂、操作方便、价格便宜等优点结合起来，制成一种适合于工业环境的通用控制装置，并把计算机的编程方法和程序输入方式加以简化，用“面向控制过程、面向对象”的“自然语言”进行编程，使不熟悉计算机的人也能方便地使用，即硬件减少，软件灵活简单。

针对上述设想，通用汽车公司提出了这种新型控制器所必须具备的十大条件，立即引起了开发热潮，这就是著名的 GM 10 条：

1）编程简单，可在现场修改程序；

2）维护方便，最好是插件式；

3）可靠性高于控制柜；

4）体积小于继电器控制柜；

5）可将数据直接送入管理计算机；

6）在成本上可与继电器控制柜竞争；

7）输入可以是交流电；

8）输出能直接驱动电磁阀；

9）在扩展时，原有系统只要很小的变更；

10）用户程序存储器容量至少能扩展到 4KB。

1969 年美国数字设备公司（DEC）研制了第一台可编程序控制器（Programmable Logic Controller，PLC）PDP-14，并在通用汽车公司的自动装配线上试用成功，从而开创了工业控制的新局面，如图 1-2 所示。接着，美国 MODICON 公司（现为施耐德公司 MODICON 公司）也开发出了 PLC 084 系列，如图 1-3 所示。

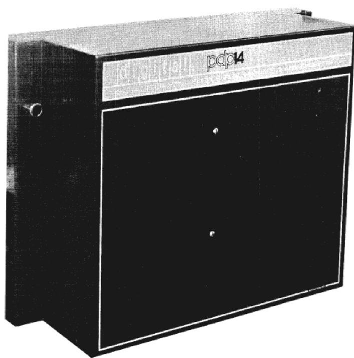


图 1-2　美国 DEC 公司的 PDP-14

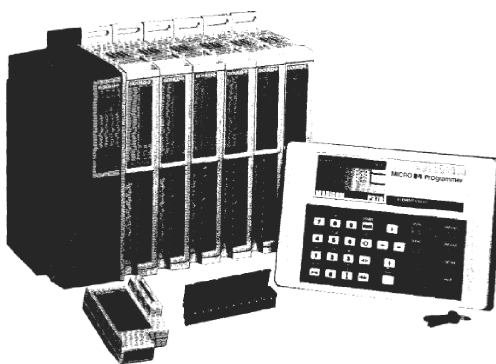


图 1-3　美国 MODICON 公司的 084

1971 年，日本从美国引进了这项新技术，很快研制出了日本第一台 DSC-8 型 PLC。1973 年，西欧国家也研制出了他们的第一台 PLC。我国从 1974 年开始研制 PLC，1977 年开始了 PLC 的工业应用。早期的 PLC 是为取代继电器控制线路、存储程序指令、完成顺序控制而设计的，主要用于逻辑运算、计时、计数等顺序控制，均属于开关量控制。

进入 20 世纪 70 年代后，随着微电子技术的发展，PLC 采用了通用微处理器，这样控制器就不再局限于当初的逻辑运算了，功能得到了不断的增强。因此，实际上称之为可编程序控制器（Programmable Computer，PC）。

20 世纪 70 年代后期，随着微电子技术和计算机技术的迅猛发展，PLC 更多地具有计算

机功能，它不仅用逻辑编程取代了硬接线逻辑，而且还增加了运算、数据传送和处理等功能，真正成为了一种专门用于工业控制的计算机，而且做到了小型化、超小型化。这种采用了微电脑技术的工业控制器，称为可编程序控制器（PC）。因为 PC 容易和个人计算机（Personal Computer，PC）混淆，故人们仍习惯地用 PLC 作为可编程序控制器的简称。

至 20 世纪 80 年代，随着大规模和超大规模集成电路等微电子技术的发展，以 16 位和 32 位微处理器构成的微机化 PLC 得到了惊人的发展，使 PLC 在概念、设计、性能、价格以及应用等方面都有了新的突破。不仅控制功能增强、功耗和体积减小、成本下降、可靠性提高、编程和故障检测更为灵活方便，而且随着远程 I/O（输入/输出）和通信网络、数据处理以及图像显示的发展，使 PLC 向用于连续生产过程控制的方向发展，成为实现工业生产自动化的一大支柱。

随着电子技术和计算机技术的迅猛发展，PLC 的功能也越来越强大，目前 PLC 已经在智能化、网络化方面取得了很好的发展，并且现今已出现了 SoftPLC，它更展现了 PLC 领域无限的发展前景。

PLC 一直在发展中，所以至今尚未对其下最后的定义。国际电工委员会（IEC）曾先后于 1982 年 11 月、1985 年 1 月和 1987 年 2 月发布了 PLC 标准草案的第一、二和三稿。在第三稿中，对 PLC 作了如下定义：PLC 是一种数字运算操作电子系统，专为在工业环境下应用而设计。它采用了可编程序的存储器，用来在其内部存储执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术运算等操作的指令，并通过数字的、模拟的输入和输出，控制各种类型的机械或生产过程。PLC 及其有关的外部设备，都应按易于与工业控制系统形成一个整体、易于扩充其功能的原则设计。

IEEE 对 PLC 的定义强调了 PLC 是：

1）数字运算操作的电子系统——实质是计算机；

2）专为在工业环境下应用而设计；

3）面向用户指令——编程方便；

4）逻辑运算、顺序控制、定时计算和算术操作；

5）数字量或模拟量输入、输出控制；

6）易与控制系统连成一体；

7）易于扩充。

1.2　PLC 的特点

PLC 是一种新型的通用自动化控制装置，它将传统的继电器-接触器控制技术、计算机技术和通信技术融为一体，具有控制功能强、可靠性高、使用灵活方便、易于扩展等优点而应用越来越广泛。但在使用时由于工业生产现场的工作环境恶劣、干扰源众多，如大功率用电设备的起动或停止引起电网电压的波动形成低频干扰，电焊机、电火花加工机床、电动机的电刷等通过电磁耦合产生的工频干扰等，都会影响 PLC 的正常工作。为了确保整个系统稳定可靠，应当尽量使 PLC 有良好的工作环境条件，并采取必要的抗干扰措施。

PLC 是属于存储程序控制的一种装置，其控制功能是通过存放在存储器内的程序来实现的，若要对控制功能做修改，在很大程度上只须改变软件指令即可，使得硬件软件化。因此

它在工业控制中的地位越来越高，占有极其重要的地位，最重要的原因是它具有一些独特的特点。

1. 可靠性高、抗干扰能力强

PLC 是专门为工业控制设计的，在设计和制造过程中采取了多层次抗干扰、精选元器件的措施。它可在恶劣的工业环境下与强电设备一起工作，运行的稳定性和可靠性较高。PLC 是以集成电路为基本单元的电子设备，内部处理不依赖于触点，元器件的寿命长，平均无故障工作时间高。

工业生产一般对控制设备可靠性要求很高，要求它有很强的抗干扰能力，能在恶劣环境下可靠地工作。平均故障间隔时间长、故障修复时间短，这是 PLC 控制优于微型计算机控制的一大特点，一般 PLC 平均整机无故障时间可长达几万 ~ 几十万小时。PLC 本身具有很强的自诊断功能，保证在“硬核”（如 CPU（中央处理器）、RAM（随机存取存储器）、I/O 总线等）都正常的情况下执行用户程序。一旦出现 CPU 故障、RAM 故障或 I/O 故障就立即给出 CPU 出错信号并停止用户程序的执行，切断所有输出信号等待修复。有些高档 PLC 具有 CPU 并行操作，若某个 CPU 出了故障，系统仍能正常工作并给出“带病”工作信号，要求修复出现故障的 CPU，这就增加了 PLC 工作的可靠性。

为了提高工作可靠性及其抗干扰能力，各 PLC 的生产厂商在硬件和软件方面采取了多种措施，使 PLC 除了本身具有较强的自诊断能力，能及时给出出错信息，停止运行等待修复外，还使 PLC 具有了很强的抗干扰能力。PLC 在其硬件、软件上采取的主要措施有：

（1）硬件措施

1）屏蔽：对电源变压器、CPU、编程器等主要部件，采用导电、导磁性能良好的材料进行屏蔽，以防外界干扰。

2）滤波：对供电系统及输入线路采用多种形式的滤波，以消除或抑制高频干扰，也削弱了各种模块间的相互影响。其滤波时间常数一般为 10 ~ 20ms。

3）电源调整与保护：采用性能优良的开关电源。对微处理器所需的 +5V 电源采用多级滤波，并用集成电压调整器进行调整，以适应交流电网的波动和过电压、欠电压的影响。

4）隔离：在微处理器与 I/O 电路之间采用光电隔离措施，有效地隔离 I/O 间电的联系，使工业现场的外部电路与 PLC 内部电路之间电气上隔离，减少故障和误动作。

5）采用模块式结构：该结构有助于在故障情况下短时修复，一旦查出某一模块出现故障，就能迅速更换，使系统恢复正常工作，同时也有助于加快查找故障原因。

（2）软件措施

PLC 具有良好的自诊断功能，一旦电源或其他软、硬件发生异常情况，CPU 立即采取有效措施，以防止故障扩大。

1）故障检测：软件定期检测外界环境，如掉电、欠电压、强干扰信号等，以便及时处理。

2）信息保护和恢复：当偶发性故障条件出现时，不破坏 PLC 内部信息，一旦故障条件消失，就可恢复正常，继续原来的工作。

3）设置了警戒时钟（WDT）：如果程序循环时间超过了 WDT 规定时间，那么预示程序进入了死循环，立即报警。

4）加强对程序的检查和校验：一旦程序有错，立即报警并停止执行。

5）对程序及动态数据进行电池后备：停电后利用后备电池供电，有关状态及信息就不会因此而丢失。

PLC 的出厂试验项目中，有一项就是抗干扰试验。它要求能承受幅值为 1000V，上升时间为 1ns，脉冲宽度为 1μs 的干扰脉冲。一般，平均故障间隔时间可达几十万～上千万小时，制成系统亦可达 4～5 万 h 甚至更长时间。大型 PLC 还可以采用由两个 CPU 构成的冗余系统或由 3 个 CPU 构成的表决系统，使可靠性更进一步提高。

2. 控制程序可变，具有很好的柔性

由于 PLC 自身硬件特点，用户在进行控制系统的设计时，不需要自己设计和制作硬件装置，只需要根据控制要求进行模块的配置，用户所作的工作只是设计满足控制对象的控制要求的应用程序。对于一个控制系统，在生产工艺改变或生产线设备更新的情况下，不必改变 PLC 的硬件设备，只需改变程序就可满足变更控制功能的要求。它与外部设备的连接方便，通信协议标准。PLC 品种齐全的各种硬件装置，可以组成能满足各种要求的控制系统，用户不必自己再设计和制作硬件装置。因此，PLC 除应用于单机控制外，在工厂自动化中也被大量采用。当生产工艺改变时，在很大程度上只需改变用户程序，这对现代化的小批量、多品种产品的生产尤其适合。现今 PLC 正在向着嵌入式方向发展，并已进入日常生活中。

3. 编程简单，使用方便

PLC 的编程大多采用类似于继电器控制电路的梯形图形式，对使用者来说不需要具备计算机的专门知识，因此很容易被一般工程技术人员所理解和掌握，这是 PLC 控制优于微型计算机控制的另一特点。它以计算机软件技术构成人们惯用的继电器模型，形成一套别具风格的以继电器梯形图为基础的形象编程语言。电气技术人员在了解了 PLC 工作原理和它的编程技术后，就可迅速地结合实际需要进行应用设计，进而将 PLC 用于实际控制系统中。它既继承了传统控制线路的清晰直观，又考虑到了大多数工厂企业电气技术人员的读图习惯及编程水平，所以非常容易接受和掌握。梯形图语言的编程元件的符号和表达方式与继电器-接触器控制电路原理图相当接近。通过阅读 PLC 的用户手册或短期培训，电气技术人员和技术工人很快就能学会用梯形图编制控制程序。它同时还提供了功能图、语句表等编程语言。PLC 在执行梯形图程序时，用解释程序将它翻译成汇编语言然后执行（PLC 内部增加了解释程序）。与直接执行汇编语言编写的用户程序相比，执行梯形图程序的时间要长一些，但对于大多数机电控制设备来说，这是微不足道的，完全可以满足控制要求。

4. 功能完善

现代 PLC 具有数字量和模拟量 I/O 模块，具有逻辑运算、算术运算、定时、计数、顺序控制、功率驱动、通信、人机对话、自检、记录、显示、监测等功能，使设备控制水平大大提高。PLC 既可控制一台生产机械、一条生产线，又可控制一个生产过程。PLC 还有许多特殊功能模块，适于各种特殊控制的要求，如定位控制模块、CRT（阴极射线管）显示模块等。

5. 扩充方便，组合灵活

PLC 产品具有各种扩展单元，可以方便地适应不同工业控制需要的不同 I/O 节点数及 I/O 方式的系统。

PLC 针对不同的工业现场信号，如交流或直流、开关量或模拟量、电压或电流、脉冲或电位以及强电或弱电等，有相应的 I/O 模块与工业现场的器件或设备如按钮、行程开关、接

近开关、传感器及变送器、电磁线圈和控制阀等直接连接。另外为了提高操作性能，它还有多种人机对话的接口模块。为了组成工业局部网络，它还有多种通信连网的接口模块等。

为了适应各种工业控制需要，除了单元式的小型 PLC 以外，绝大多数 PLC 均采用模块化结构。PLC 的各个部件，包括 CPU、电源、I/O 模块等均采用模块化设计，由机架及电缆将各模块连接起来，系统的规模和功能可根据用户的需要自行组合。由于采用模块化结构，因此一旦某模块发生故障，用户可以通过更换模块的方法使系统迅速恢复运行。

6. 减少了控制系统设计及施工的工作量

PLC 采用软件来取代继电器-接触器控制系统中大量的中间继电器、时间继电器、计数器等器件，它采用软件编程来达到完成控制工程的工艺要求，而不是用硬接线。PLC 控制系统的安装接线工作量比继电器控制系统少得多，只需将现场的各种设备与 PLC 相应的 I/O 接口相连。这样便减少了设计和施工的工作量，同时 PLC 软件设计和调试大部分可以在实验室模拟进行，模拟调试好后再将 PLC 控制系统进行现场联机调试，方便省时。PLC 本身可靠性高，有完善的自诊断能力和系统监控能力，方便迅速地查明和排除故障，也大大提高了维护的工作效率。由于系统硬件的设计任务仅仅是根据对象的控制要求配置适当的模块，而不要设计具体的接口电路，同时软件设计和外部电路设计可以同时进行，这样便大大缩短了整个系统设计的时间，加快了系统的设计周期。

7. 体积小、重量轻，是机电一体化的特有产品

PLC 是专为工业控制而设计的专用计算机，它是将微电子技术应用于工业设备的产品，其结构紧密坚固、体积小、重量轻、功耗低。又因其抗扰能力强，易于装入机械设备内部，因而成为机电一体化的理想设备。以三菱公司的 F1-40M 型 PLC 为例，其外形尺寸仅为 305mm × 110mm × 110mm，重量为 2.3kg，功耗小于 25W，而且具有很好的抗振和适应环境温度及湿度变化的能力。20 世纪 80 年代末，三菱公司又推出了 FX 系列 PLC，与其超小型品种 F1 系列相比，它的面积为其 47%，体积为其 36%。它在系统的配置上既固定又灵活，I/O 点数可达 24 ~ 128。同时由于 PLC 所具有的技术条件，使它能在一般高温、振动、冲击和粉尘等恶劣环境下工作，能在强电磁干扰环境下可靠工作，这便是 PLC 产品的市场生存价值。

1.3 PLC 的分类

由于 PLC 的品种、型号、规格、功能各不相同，要按统一的标准对它们进行分类十分困难。通常，按 I/O 点数可划分成大型、中型和小型三类；按功能强弱又可分为低档机、中档机和高档机三类；按结构分又分为整体式和模块式两类。

1. 按I/O 点数分类

（1）小型 PLC

小型 PLC 的 I/O 点数小于 256，单 CPU，8 位或 16 位处理器，用户存储器容量在 8KB 以下，如：

GE-Ⅰ　　美国通用电气（GE）公司
TI100　　美国德洲仪器公司
F、F1、F2　　日本三菱电气公司
C20 C40　　日本欧姆龙公司

S7-200　　　　德国西门子公司
EX20 EX40　　日本东芝公司
SR-20/21　　　中外合资无锡华光电子工业有限公司

（2）中型 PLC

中型 PLC 的 I/O 点数在 256～2048 之间，双 CPU，用户存储器容量为 2～8KB，主要采用模块组合式结构，如：

S7-300　　　　德国西门子公司
SR-400　　　　中外合资无锡华光电子工业有限公司
SU-5、SU-6　　德国西门子公司
C-500　　　　 日本欧姆龙公司
GE-Ⅲ　　　　 美国 GE 公司

（3）大型 PLC

大型 PLC 的 I/O 点数大于 2048 点，多 CPU，16 位、32 位处理器，用户存储器容量为 8～16KB，它是为要求连续控制的大型工厂或大型机器设计的，如：

S7-400　　　　德国西门子公司
GE-Ⅳ　　　　 美国 GE 公司
C-2000　　　　日本立石公司
K3　　　　　　日本三菱公司等

2. 按结构分类

（1）整体式（单元式或箱体式）PLC

整体式 PLC 是将电源、CPU、I/O 接口等部件都集中装在一个机箱内，具有结构紧凑、体积小、价格低的特点，小型 PLC 一般采用这种整体式结构。整体式 PLC 由不同 I/O 点数的基本单元（又称主机）和扩展单元组成，基本单元内有 CPU、I/O 接口、与 I/O 扩展单元相连的扩展口，以及与编程器或 EPROM 写入器相连的接口等。扩展单元内只有 I/O 和电源等，没有 CPU。基本单元和扩展单元之间一般用扁平电缆连接，整体式 PLC 一般还可配备特殊功能单元，如模拟量单元、位置控制单元等，使其功能得以扩展。如：

C20P、C40P、C60P　日本欧姆龙公司
F1 系列　　　　　　日本三菱公司
EX20/40 系列　　　 日本东芝公司
SLC500　　　　　　 美国 AB 公司

（2）模块式（积木式）PLC

模块式 PLC 是将 PLC 各组成部分，分别作成若干个单独的模块，如 CPU 模块、I/O 模块、电源模块（有的含在 CPU 模块中）以及各种功能模块。模块式 PLC 由框架或基板和各种模块组成，模块装在框架或基板的插座上。这种模块式 PLC 的特点是配置灵活，可根据需要选配不同规模的系统，而且装配方便，便于扩展和维修，大中型 PLC 一般采用模块式结构。如：

C200H、C1000H、C2000H　日本欧姆龙公司
PLC5 系列　　　　　　　 美国 AB 公司
984 系列　　　　　　　　美国 MODICON 公司

S5-100U、S5-115U、S7-300、S7-400　　　德国西门子公司

此外，也有将整体式与模块式结合起来的 PLC 称为叠装式 PLC，其配置更为灵活。叠装式 PLC，其 CPU、电源、I/O 接口等也是各自独立的模块，但它们之间靠电缆进行连接，并且各模块可以逐层地叠装。这样不但系统可以灵活配置，还可做得体积小巧。

3. 按功能分类

（1）低档机

低档 PLC 具有逻辑运算、定时、计数、移位以及自诊断、监控等基本功能，还可有少量模拟量输入/输出、算术运算、数据传送和比较、通信等功能。低档 PLC 主要用于逻辑控制、顺序控制或少量模拟量控制的单机控制系统。

（2）中档机

中档 PLC 除具有低档 PLC 的功能外，还具有较强的模拟量处理、数值运算、数据处理、PID（比例、积分、微分）控制、远程 I/O 及通信连网等功能，适用于复杂控制系统。

（3）高档机

除具有中档机的功能外，高档 PLC 还增加了带符号算术运算、矩阵运算、位逻辑运算、平方根运算及其他特殊功能函数的运算、制表及表格传送功能等。高档 PLC 具有更强的通信连网功能，可用于大规模过程控制或构成分布式网络控制系统，实现工厂自动化。

1.4　PLC 的功能和应用

随着 PLC 性价比的不断提高，微处理器芯片及有关元器件价格大幅降低，PLC 的成本也有所下降，PLC 的功能大大增强，因而 PLC 的应用日益广泛。目前，PLC 在国内外已广泛应用于钢铁、采矿、水泥、石油、化工、电力、机械制造、汽车、装卸、造纸、纺织、环保等各行各业，其应用范围大致可归纳为以下 5 种：

1. 开关量的逻辑控制

这是 PLC 的最基本、最广泛的应用领域。它取代传统的继电器-接触器控制系统，实现逻辑控制、顺序控制。开关量的逻辑控制可用于单机控制，也可用于多机群控，亦可用于自动生产线的控制等。

2. 运动控制

PLC 可用于直线运动或圆周运动的控制。早期直接用开关量 I/O 模块连接位置传感器和执行机械，现在一般使用专用的运动模块。目前，制造厂商已提供了拖动步进电动机或伺服电动机的单轴或多轴位置控制模块，即把描述目标位置的数据送给模块，模块移动一轴或多轴到目标位置。当每个轴运动时，位置控制模块保持适当的速度和加速度，确保运动平滑。运动的程序可用 PLC 的语言完成，通过编程器输入。

3. 闭环过程控制

PLC 通过模拟量的 I/O 模块实现模拟量与数字量的 A/D（模/数）、D/A（数/模）转换，可实现对温度、压力、流量等连续变化的模拟量的 PID 控制。

4. 数据处理

现代的 PLC 具有数学运算（包括矩阵运算、函数运算、逻辑运算）、数据传输、排序和查表、位操作等功能，可以完成数据的采集、分析和处理。数据处理一般用在大中型控制系

统中，它具有 CNC（计算机数字控制）功能，把支持顺序控制的 PLC 与数字控制设备紧密结合起来。

5. 通信连网

现代 PLC 大多数都采用了通信、网络技术，有 RS232 或 RS485 接口，可进行远程 I/O 控制。多台 PLC 可彼此间连网通信，外部器件与一台或多台 PLC 的信号处理单元之间实现程序和数据交换，如程序转移、数据文档转移、监视和诊断。PLC 的通信包括 PLC 与 PLC 之间、PLC 与上位计算机之间和它的智能设备之间的通信。PLC 和计算机之间具有 RS232 接口，用双绞线、同轴电缆将它们连成网络，以实现信息的交换；还可以构成“集中管理、分散控制”的分布控制系统，以便完成较大规模的复杂控制。I/O 模块按功能各自放置在生产现场分散控制，然后利用网络连接构成集中管理信息的分布式网络系统。通信接口或通信处理器按标准的硬件接口或专有的通信协议完成程序和数据的转移。通常所说的 SCADA（监控与数据采集）系统、现场端和远程端也可以采用 PLC 作为现场机。

并不是所有的 PLC 都具有上述全部功能，有的小型 PLC 只具有上述部分功能，其价格也比较便宜。

1.5　PLC 的发展

1.5.1　PLC 的发展历史和趋势

PLC 的应用是以微处理器为核心的，它是综合了计算机技术、自动控制技术和通信技术发展起来的一种通用的工业自动控制装置，具有可靠性高、体积小、功能强、程序设计简单、灵活通用、维护方便等一系列优点，因而在制造、冶金、能源、交通、化工、电力等领域有着广泛的应用，成为现代工业控制的支柱之一。

PLC 从诞生到现在，按照 CPU 的发展来划分经历了 5 次换代，见表 1-1。

表 1-1　PLC 的划分

代　　次	器　　件	功　　能
第 1 代(1969 ~ 1972 年)	1 位微处理器	逻辑控制功能
第 2 代(1973 ~ 1975 年)	8 位微处理器及存储器	产品系列化
第 3 代(1976 ~ 1983 年)	高性能 8 位微处理器及位片式微处理器	处理速度提高,向多功能及通信连网发展
第 4 代(1983 ~ 20 世纪 90 年代中期)	16 位、32 位微处理器及高性能位片式微处理器	具有逻辑、运动、数据处理、连网等多功能
第 5 代(20 世纪 90 年代中期 ~ 至今)	16 位、32 位微处理器芯片,有的已使用 RISC 芯片	具有逻辑、运动、数据处理、模拟量闭环、连网监控等多功能

目前，对于世界先进工业国家，PLC 已成为工业控制的标准设备，它的应用几乎覆盖了所有工业企业。PLC 控制技术是当今世界潮流，是工业自动化的三大支柱（PLC 技术、工业机器人、计算机辅助设计和计算机辅助制造）之一。

现代 PLC 的发展有两个主要趋势：其一是向体积更小、速度更快、功能更强和价格更低的微小型方面发展，即现今开始发展的嵌入式 PLC 控制方式；其二是向大型网络化、高

可靠性、好的兼容性和多功能方面发展。PLC 的功能越来越丰富，而体积则越来越小。比如三菱公司的 FX_{0N} 系列 PLC，其最小的机种体积仅为 60mm × 90mm × 70mm，相当于一个继电器，但却具有高速计数、斜坡、交替输出及 16 位四则运算等能力，还具有用可调电位器进行时间设定功能。PLC 已不再是早期那种只能进行开关量逻辑运算的产品了，而是具有越来越强的模拟量处理能力，以及其他过去只有在计算机上才能具有的高级处理能力，如浮点数运算、PID 调节、温度控制、精确定位、步进驱动、报表统计等。从这种意义上说，PLC 系统与 DCS（集散控制系统）的差别已经越来越小了。PLC 的发展趋势具体如下：

1. 大型网络化

I/O 点数达 14336 点、32 位微处理器、多 CPU 并行工作、大容量存储器、扫描速度高速化，主要是朝 DCS 方向发展，使其具有 DCS 的一些功能。网络化和通信能力强是 PLC 发展的一个重要方面，向下可将多个 PLC、I/O 框架相连；向上与工业计算机、以太网、MAP（制造自动化协议）网等相连，构成整个工厂的自动化控制系统。

2. 多功能

随着自调整、步进电动机控制、位置控制、伺服控制等模块的出现，PLC 的控制领域更加宽广。PLC 由整体结构向小型模块化结构发展，增加了配置的灵活性，降低了成本。

（1）PLC 在闭环过程控制中的应用日益广泛

现代的 PLC 提供专用于模拟量闭环控制的 PID 指令和智能 PID 模块，一些 PLC 还具有了模糊控制、自适应控制和参数自整定功能，使调整时间减少，控制精度提高。

（2）不断加强通信连网功能

PLC 的通信连网功能可以使 PLC 与 PLC 之间、PLC 与计算机之间能够进行数字信息交换，形成一个统一的整体，实现集中控制和分散控制。

（3）新器件和模块不断推出

高档的 PLC 除了主要采用 CPU 以提高处理速度外，还有带处理器的 EPROM（可擦除可编程只读存储器）或 RAM（随机存取存储器）的智能 I/O 模块、高速计数模块、远程 I/O 模块等专用化模块。

（4）编程工具丰富多样、功能不断提高、编程语言趋向标准化

有各种简单或复杂的编程器及编程软件，采用梯形图、功能图、语句表等编程语言，亦有高档的 PLC 指令系统。

（5）追求软、硬件的标准化

PLC 的软、硬件体系结构是封闭的，这使得各厂商的模块互不通用，软件互不兼容。PLC 的软、硬件标准化有利于客户和厂商的利益趋于最大化。

另外，还研制出了多回路闭环控制模块、步进电动机控制模块、仿真模块和通信处理模块等，为用户提供了方便的人机界面、用户程序多级口令保护、极强的计算性能、完善的指令集、通过 PROFIBUS（过程现场总线）以及以太网连网的网络能力、强劲的内部集成功能、全面的故障诊断功能。模块式结构可用于各处性能的扩展、脉冲输出晶闸管步进电动机和直流电动机。快速的指令处理大大缩短了循环周期，并采用了高速计数器，高速中断处理可以分别响应过程事件，大幅度降低了成本。

3. 高可靠性

由于控制系统的可靠性日益受到人们的重视，一些公司已将自诊断技术、冗余技术、容

错技术广泛应用到现有产品中，推出了高可靠性的冗余系统，并采用热备用或并行工作、多数表决的工作方式。PLC 即使在恶劣、不稳定的工作环境下，坚固、全密封的模板依然可正常工作，在操作运行过程中模板还可热插拔。

1.5.2　PLC 的发展概况

1. 国外PLC 的发展概况

PLC 自问世以来，经过 40 多年的发展，在美、德、日等工业发达国家已成为重要的产业之一。PLC 的世界总销售额不断上升、生产厂商不断涌现、品种不断翻新，产量产值大幅度上升而价格则不断下降。目前，世界上有 200 多个厂商生产 PLC，较有名的有美国的 AB、通用电气、莫迪康公司；日本的三菱、富士、欧姆龙、松下电工公司等；德国的西门子公司；法国的施耐德 TE 公司；韩国的三星、LG 公司等。

2. 国内PLC 的发展概况

20 世纪以来，我国 PLC 产品的研制和生产经历了 3 个阶段：初级认识阶段（70 年代后期至 80 年代初期）、引进应用和消化移植阶段（80 年代初期至 90 年代初期）以及广泛应用发展阶段（90 年代初期以后）。在改革开放的推动下，国外 PLC 产品大量进入我国市场，一部分随成套设备进口。早期如宝钢一、二期工程就引进了 500 多套设备，还有咸阳显像管厂、秦皇岛煤码头、汽车厂等也引进了 PLC 产品。现在，PLC 在国内的各行各业也有了极大的应用，技术含量也越来越高。

近年来，我国的 PLC 研制、生产、应用发展也很快。特别是在应用方面，在引进成套设备的同时也配套引进了不少 PLC，在我国自己生产制造的设备上也大量采用了 PLC 控制。另外，应用 PLC 对老设备进行改造，可在投入较少的条件下实现了产品的升级换代。总之，我国 PLC 的应用已获得了令人瞩目的经济效益和社会效益。

我国在研制生产自己 PLC 产品的同时也引进了国外的 PLC 或与国外公司合资生产各种档次的 PLC 产品，既返销国外也在国内销售。

无论是国内还是国外，PLC 的发展其明显的特征是，产品的集成度越来越高，速度越来越快，功能越来越强，工作性能越来越可靠，使用越来越方便。PLC 现已广泛用于顺序控制、运动控制、过程控制、数据处理、通信等类型的控制。特别是 PLC 远程通信功能的实现及多种功能的编程语言和先进的指令系统，为工业自动化提供了有力的工具，加速了机电一体化的进程。

1.6　PLC 与微型计算机及继电器-接触器控制系统的区别

PLC 控制系统与继电器-接触器控制系统以及微型计算机控制系统、单片机控制系统相比均有其优越性，它代表了当今电气程序控制的世界先进水平。

1.6.1　PLC 控制系统与微型计算机控制系统的区别

微型计算机是通用的专用机，主要用于信息处理；PLC 是专用的通用机，主要用于功能控制。

微型计算机是在以往计算机与大规模集成电路的基础上发展起来的，其最大特征是运算

快、功能强、应用范围广。例如，近代科学计算、科学管理和工业控制等都离不开它。PLC 是一种为适应工业控制环境而设计的专用计算机。选配对应的模块便可适用于各种工业控制系统，而用户只需改变用户程序即可满足工业控制系统的具体控制要求。如果采用微型计算机作为某一设备的控制器，就必须根据实际需要考虑抗干扰问题和软、硬件设计，以适应设备控制的专门需要。这样，势必把通用的微型计算机转化为具有特殊功能的控制器而成为一台专用机。

PLC 与微型计算机的主要差异及各自的特点主要表现为以下 7 个方面：

1. 应用范围

微型计算机除了控制领域外，还大量用于科学计算、数据处理、计算机通信等领域，而 PLC 主要用于工业控制领域。

2. 使用环境

微型计算机对环境要求较高，一般要在干扰小、具有一定的温度和湿度要求的机房内使用，PLC 则适用于工业现场环境。

3. I/O

微型计算机的 I/O 设备与主机之间采用微电（微弱的电压、电流信号）联系，一般不需要电气隔离。PLC 一般控制强电设备，需要电气隔离，I/O 均用光耦合器进行光电隔离，输出还采用继电器、晶闸管或大功率晶体管进行功率放大。

4. 程序设计

微型计算机具有丰富的程序设计语言，如汇编语言、PASCAL 语言、C 语言等，其语句多、语法关系复杂，要求使用者必须具有一定水平的计算机硬件知识和软件知识。PLC 提供给用户的编程语句数量少、逻辑简单，易于学习和掌握。

5. 系统功能

微型计算机一般配有较强的系统软件，例如操作系统，能进行设备管理、文件管理、存储器管理等。它还配有许多应用软件，以方便用户使用。PLC 一般只有简单的监控程序，能完成故障检查、用户程序的输入和修改、用户程序的执行与监视。

6. 运算速度和存储容量

微型计算机运算速度快，一般为微秒级，因有大量的系统软件和应用软件，故存储容量大。PLC 因接口的响应速度慢而影响数据处理速度，一般 PLC 接口响应速度为 2ms，巡回检测速度为 8ms/KB。PLC 的软件少，所编程序也简短，故存储器容量小。

7. 价格

微型计算机是通用机，功能完善，故价格较高，而 PLC 是专用机，功能较少，其价格是微型计算机的 1/10 左右。

从以上几个方面的比较可知，PLC 是一种用于工业自动化控制的专用微型计算机系统，它的结构简单、抗干扰能力强，价格也比一般的微型计算机系统低。

总之，PLC 与微型计算机相比：①PLC 继承了继电器-接触器控制系统的基本格式和习惯，对于有继电器-接触器控制系统方面知识和经验的人来说，尤其是现场的技术人员，学习起来十分方便。②PLC 一般由电控设备的制造厂商研制生产，各厂商的产品不通用。微型计算机是由通用计算机推广应用发展起来的，一般由微型计算机生产厂商、芯片及板卡制造厂商开发生产。它在硬件结构方面的突出优点是总线标准化程度高，产品兼容性强。③PLC

的运行方式与微型计算机不同，PLC 不能直接使用微型计算机的许多软件。微型计算机可使用通用微型计算机的各种编程语言，对要求快速、实时性强、模型复杂的工业对象的控制占有优势，但它要求使用者具有一定的计算机专业知识。④PLC 一般具有模块结构，可以针对不同的对象进行组合和扩展。

1.6.2　PLC 与继电器-接触器控制系统的区别

继电器-接触器控制线路，是用导线将基本控制环节相互连接，实现特定的控制要求。传统继电器-接触器控制系统由输入设备、控制线路、输出设备三部分组成，如图 1-4 所示。

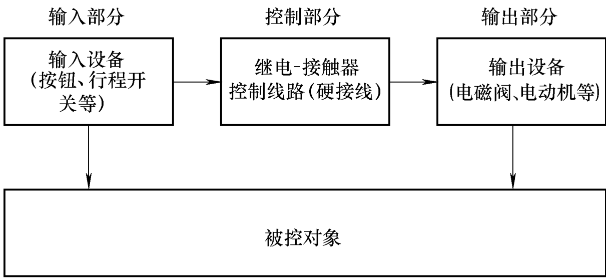


图 1-4　传统继电器-接触器控制系统

1. 继电接触控制系统

下面是几种典型的继电器-接触器控制线路。

（1）三相异步电动机的基本控制线路

三相异步电动机的控制线路如图 1-5 所示。

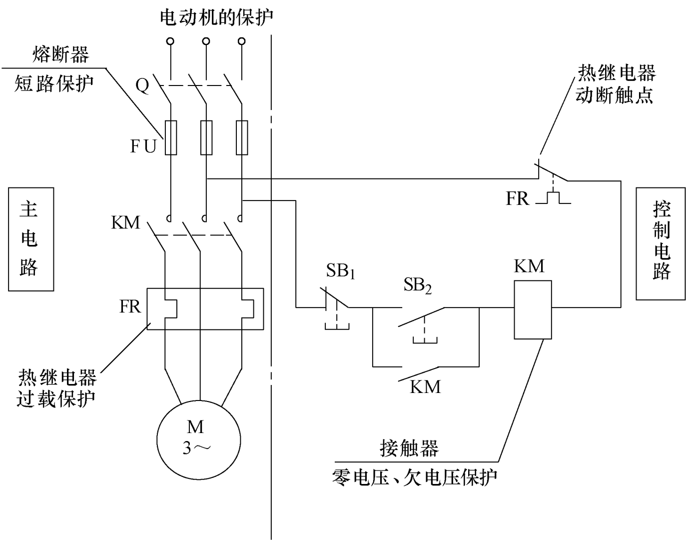


图 1-5　三相异步电动机的控制线路

合上开关 Q，按下起动按钮 SB_2，KM 线圈通电，KM 主触点[㊀]闭合，电动机运转。KM 辅助触点闭合自锁（利用自身辅助触点，维持线圈通电的作用称为自锁），此时即使松开起

㊀ 低压电器触点均应称为触头，为与 PLC 中触点统一方便起见，本书均用触点表示。

动按钮 SB_2，KM 线圈仍有电，电动机仍运转。只有按下停止按钮 SB_1，KM 线圈断电，KM 主触点断开，电动机停转。KM 辅助触点断开，取消自锁。

（2）三相异步电动机的正反转控制线路

将电动机接到电源的任意两根线对调一下，即可使电动机反转，需要用两个接触器来实现这一要求。当正转接触器工作时，电动机正转；当反转接触器工作时，将电动机接到电源的任意两根线对调一下，电动机反转，如图 1-6 所示。

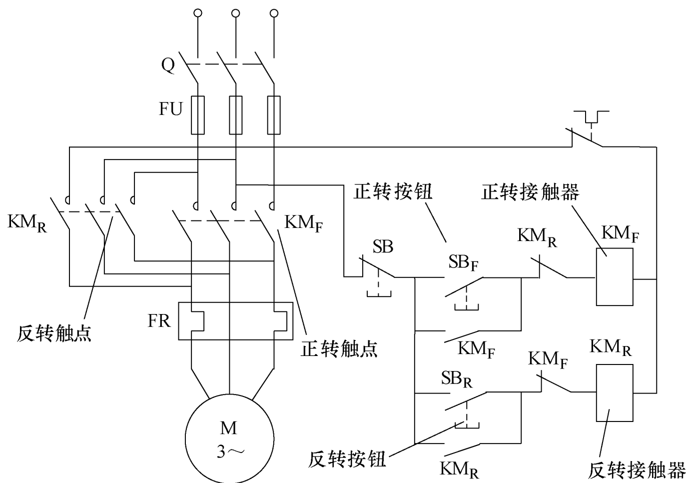


图 1-6　三相异步电动机正反转控制线路

SB_F 和 SB_R 决不允许同时按下，否则会造成电源两相短路。正反转控制线路必须保证正转、反转接触器不能同时动作。

2. PLC 控制系统

控制部分由微处理器和存储器代替传统继电器-接触器控制线路，其控制作用由软件编程实现，如图 1-7 所示。

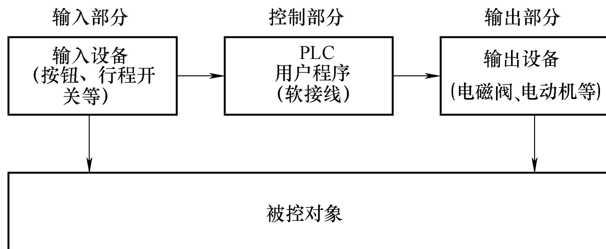


图 1-7　PLC 控制系统

PLC 是在传统的继电器-接触器控制系统上发展起来的，PLC 编程语言中的梯形图与继电器-接触器控制线路十分相似，但是 PLC 与继电器-接触器控制系统还存在一些区别（见表 1-2），主要表现在以下几方面：组成器件不同；触点数量不同；控制方式不同；工作方式不同。

（1）控制逻辑

继电器-接触器控制逻辑采用硬接线逻辑，利用继电器机械触点的串联或并联及时间继电器的延时动作等组合成控制逻辑，其接线多而复杂，体积大、功耗大，一旦系统构成后想

表 1-2　PLC 与继电器-接触器控制系统的区别

	组成器件不同	触点数量不同	控制方式不同	工作方式不同
继电器-接触器控制系统	硬器件,易磨损	有限,一般用于控制 4 ~ 8 对	控制功能包含于固定线路,功能专一,设计复杂	并行工作方式,该吸合的继电器同时吸合
PLC 控制系统	软器件,功耗低,无磨损	无限多,各触点的状态可取用无数次	梯形图程序实现控制功能,灵活多变,设计简化	串行工作方式,依次扫描

再改变或增加功能都很困难。另外，继电器触点数目有限，每只有 4 ~ 8 对触点，因此灵活性和扩展性很差。PLC 控制逻辑采用存储器逻辑，其控制逻辑以程序方式存储在存储器中，要改变控制逻辑只需改变程序即可，故称为“软接线”。PLC 接线少、体积小，而且其中每只软继电器的触点数在理论上无限制，因此灵活性和扩展性很好。PLC 由中大规模集成电路组成，功耗小。

（2）工作方式

当电源接通时，继电器-接触器控制线路中各继电器都处于受约束状态，即该吸合的都应吸合，不该吸合的都因受某种条件限制而不能吸合。PLC 控制逻辑中，各继电器都处于周期性循环扫描接通之中，从宏观上看，每个继电器受制约接通的时间是短暂的。

（3）控制速度

继电器-接触器控制逻辑依靠触点的机械动作实现控制，工作频率低，且触点的通断动作一般在几十毫秒数量级。另外，机械触点还会出现抖动问题。PLC 是由程序指令控制半导体电路来实现控制的，速度极快，一般用户指令执行时间在微秒数量级。PLC 内部还有严格的同步，不会出现抖动问题。

（4）限时控制

继电器-接触器控制逻辑利用时间继电器的延时动作进行限时控制。时间继电器一般定时精度不高，调整时间困难，有些特殊的时间继电器结构复杂，不便维护。PLC 使用半导体集成电路作定时器，时基脉冲由晶体振荡器产生，精度相当高，且定时时间不受环境影响，定时范围大。用户可根据需要在程序中设定定时值，然后由软件和硬件计数器来控制定时时间。

（5）计数限制

PLC 能实现计数功能，而继电器-接触器控制逻辑一般不具备计数功能。

（6）设计和施工

使用继电器-接触器控制逻辑完成一项控制工程，其设计、施工、调试必须依次进行，周期长、工程越大，这一点就越突出。而用 PLC 完成一项控制工程时，在系统设计完成以后，现场施工和控制逻辑的设计（包括梯形图设计）可以同时进行，其周期短，且调试和维修都很方便。

（7）可靠性和可维护性

继电器-接触器控制逻辑使用了大量的机械触点，连线也多。触点通断时会受到电弧的损坏，并有机械磨损，寿命短，因此可靠性和可维护性差。PLC 采用微电子技术，大量的开关动作由无触点的半导体电路来完成，它体积小、寿命长、可靠性高。PLC 还配有自检和监

督功能，能检查出自身的故障，并随时显示给操作人员，还能动态地监视控制程序的执行情况，为现场调试和维护提供了方便。

（8）价格

继电器—接触器控制逻辑使用机械开关、继电器和接触器，价格比较低，而 PLC 使用中大规模集成电路，价格比较高。

从以上几个方面的比较可知，PLC 控制在性能上比继电器-接触器控制逻辑优异，特别是可靠性高、设计施工周期短、调试修改方便，但其价格高于继电器—接触器控制系统。从系统的性价比而言，PLC 具有很大的优势。另外，继电器-接触器控制线路可以用 PLC 的梯形图来实现其功能，但由于 PLC 的工作方式不同（串行），以及 PLC 工作过程的特点（集中输入集中输出等），给控制结果带来了特殊性。

总之，PLC 与传统的继电器-接触器逻辑相比，PLC 可靠性高、逻辑功能强、体积小；在需要大量中间继电器、时间继电器及计数继电器的场合，PLC 无需增加硬设备；随着要求的变更，PLC 对程序修改更方便。继电器-接触器控制线路要想改变控制功能，必须变更硬接线，其灵活性差；PLC 具有网络通信功能，可附加高性能模块对模拟量进行处理，实现了各种复杂控制功能。PLC 与传统继电器-接触器控制系统实物的对比如图 1-8 所示。

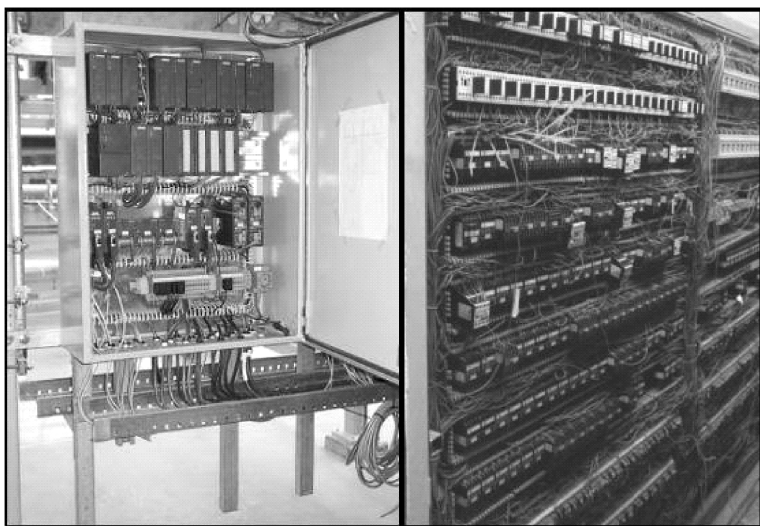


图 1-8　PLC 与传统继电器-接触器控制系统实物的对比

第 2 章　PLC 的组成和工作原理

2.1　PLC 的组成

2.1.1　PLC 的硬件组成

PLC 由于其自身的特点，在工业生产的各个领域得到了越来越广泛的应用。作为 PLC 的用户，要正确地应用 PLC 去完成各种不同的控制任务，首先应了解其组成结构和工作原理。

PLC 实施控制，其实质就是按一定算法进行输入输出变换，并将这个变换予以物理实现。输入输出变换、物理实现可以说是 PLC 实施控制的两个基本点，同时物理实现也是 PLC 与普通微型计算机相区别之处，其需要考虑实际控制的需要。应能排除干扰信号适应于工业现场，输出应放大到工业控制的水平，能为实际控制系统方便使用，所以 PLC 采用了典型的计算机结构，主要是由微处理器［CPU（中央处理单元）］、存储器［RAM（随机存取存储器）/ROM（只读存储器）］、输入输出（I/O）接口电路、通信接口及电源组成。PLC 的基本结构如图 2-1 所示。

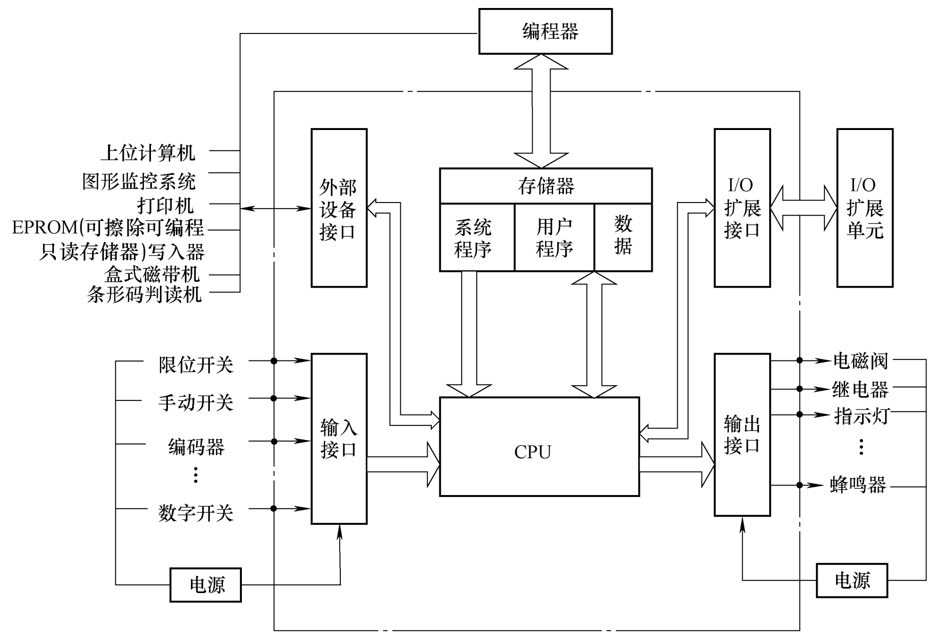


图 2-1　PLC 的基本结构

PLC 的基本组成可归为以下 3 个部分：CPU 板——控制器的核心；I/O 部件——连接现场设备与 CPU 之间的接口电路；电源部件——为 PLC 内部电路提供能源。

一般讲，PLC 分为整体式和模块式两种，但它们的组成是相同的。对整体式 PLC，四部分装在同一个机壳内，有一块 CPU 板、I/O 板、显示面板、存储器、电源等；当然按 CPU 性能分可成若干型号，并按 I/O 点数又有若干规格。对模块式 PLC，各部件独立封装，称为模块，通过机架和总线连接而成，有 CPU 模块、I/O 模块、存储器、电源模块、底板机架。无论哪种结构类型的 PLC，都属于总线式开放型结构，其 I/O 能力可按用户需要进行扩展与组合。

1. 整体式PLC 的结构

整体式 PLC 的特点是结构紧凑。它将所有的电路都装入一个模块内，构成一个整体，这样体积小巧、成本低、安装方便。FX_2 系列 PLC 由基本单元、扩展单元、扩展模块及特殊适配器 4 种产品构成，仅用基本单元或将上述各种产品组合起来使用均可。

基本单元（M）：内有 CPU 与存储器，为必用装置。

扩展单元（E）：要增加 I/O 点数时使用的装置。

可利用扩展模块，以 8 为单位增加 I/O 点数。也可只增加输入点数或只增加输出点数，从而使 I/O 的点数比率改变。

其主机由 CPU、存储器、I/O 接口、电源、通信接口等几大部分组成。此外根据用户需要而配备的各种外部设备如：编程器、图形显示器、微型计算机等都可以通过通信接口与主机相连。图 2-2 所示为整体式 PLC 控制系统的硬件结构示意图。

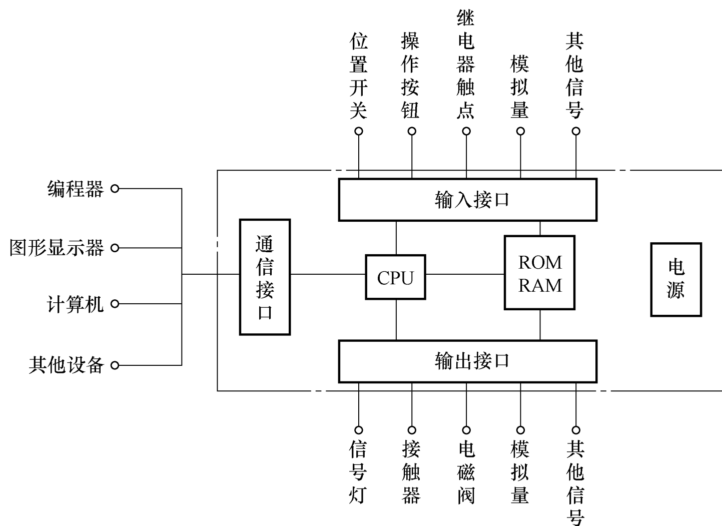


图 2-2　整体式 PLC 控制系统的硬件结构示意图

整体式 PLC 内有 CPU 模块、I/O 模块和电源，扩展单元内只有 I/O 模块和电源，基本单元和扩展单元之间用扁平电缆连接。整体式 PLC 一般配备有许多专用的特殊功能单元，如模拟量 I/O 单元、位置控制单元和通信单元等。三菱 FX_{1N}系列整体式 PLC 如图 2-3 所示。

2. 模块式PLC 的结构

模块式 PLC 采用搭积木的方式组成系统，它由机架和模块组成。模块插在模块插座上，后者焊在机架的总线连接板上。机架有不同的槽数供用户选用，如果一个机架容纳不下所选用的模块，可以增加扩展机架。各机架之间用 I/O 扩展电缆连接，在一块基板上插上 CPU 、

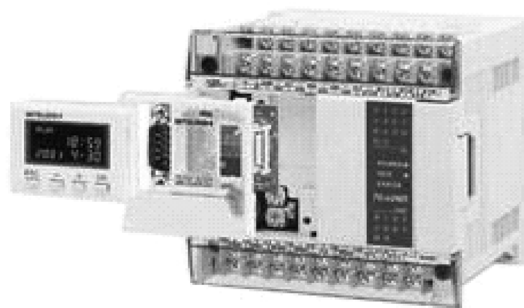


图 2-3　三菱 FX_{1N}整体式 PLC

电源、I/O 模块及特殊功能模块，构成一个总 I/O 点数很多的大规模综合控制系统。这种结构形式的特点是 CPU 为独立的模块，输入、输出模块也是独立模块，大中型 PLC 一般采用模块式结构。

用户可以选用不同档次的 CPU 及按需求选用 I/O 模块。除电源模块和 CPU 模块插在固定的位置外，其他槽可以按需要插上输入或输出模块。所插槽位不同输入或输出点的地址不同，不同型号的 PLC 及不同点数的 I/O 模块其地址号也不同，这要参考相应的用户使用手册。

图 2-4 所示为西门子公司的 S5-115U 模块式 PLC。

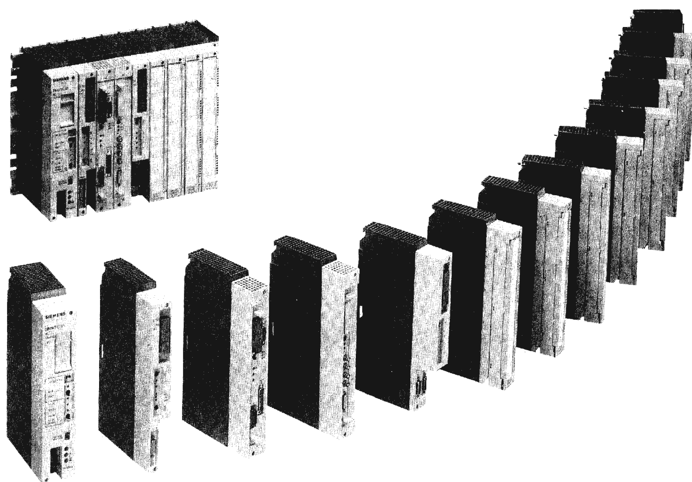


图 2-4　西门子 S5-115U 模块式 PLC

模块式 PLC 组成如下：

（1）机架

用于固定各种模块，并完成模块间通信。

（2）CPU 模块

CPU 模块由微处理器和存储器组成，是 PLC 的核心部件，用于整机的控制。

（3）电源模块

支持 PLC 内部各模块工作，并可为输入电路和外部现场传感器提供电源。

（4）输入模块

输入模块用于采集输入信号，分为开关量和模拟量输入模块。

（5）输出模块

输出模块用于控制动作执行部件，分为开关量和模拟量输出模块。输出有三种形式：继电器输出、晶闸管输出和晶体管输出。

（6）功能模块

用于完成各种特殊功能的模块，如运动控制模块、高速计数器模块和通信模块等。

3. 叠装式PLC 的结构

它的结构也是各种单元、CPU 自成独立的模块，但安装不用基板，仅用电缆进行单元间连接，且各单元可以一层层地叠装。

FX_{2N}系列 PLC 是单元式和模块式相结合的叠装式结构，如图 2-5 所示。

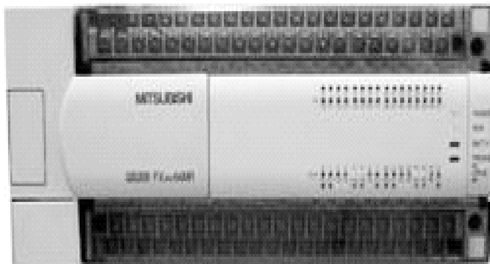


图 2-5　三菱 FX_{2N}系列 PLC

2.1.2　PLC 的软件组成

前面介绍了 PLC 的硬件框图及各种硬件的功能，PLC 工作过程及硬件功能的实现还要靠软件的支持。PLC 的软件组成如下：

1）系统程序。系统程序包括诊断程序、键盘输入处理程序、翻译程序、信息传送程序和监控程序。

2）用户程序。用户程序是用户根据设备控制要求编制的控制程序，相当于继电器-接触器控制系统的控制电路。常见的 PLC 编程语言有梯形图、语句表、功能表图。

3）系统监控程序。系统监控程序包括：①系统运行管理程序——用来控制 PLC 的运行，使整个 PLC 按部就班地工作；②用户指令解释程序——用来将 PLC 的编程语言变为机器语言指令；③标准程序模块与系统调用程序（子程序及其调用管理程序等）。

1. 用户程序的存放形式

PLC 的编程语言是 PLC 应用软件的工具，它以 PLC 输入接口、输出接口、机内部件之间的逻辑及数量关系表达系统的控制要求，并存储在机内的存储器中。任何语言编写的程序都要经过编译，变成机器代码后才能顺序地存放在用户程序存储器（RAM 或 EPROM）中。除了程序代码，用户数据也很重要。

用户数据的类型包括：

1）位数据（bit）——占存储器中的 1 位，对应于一个“继电器”状态，为“0”或“1”。

2）字节数据（Byte）——占存储器中的 8 位，以 BCD 码（十进制）的形式存放（一般为两个 BCD 码，每个 BCD 码占存储器中的 4 位）。

3）字数据（Word）——双字节数据，占存储器中的 16 位（以 BCD 码形式存放）。

4）双字数据（Dword）——占存储器中的 32 位（以 BCD 码形式存放）。

5）混合数据（位与字节或字）——如定时器、计数器等的设定值和当前值均为字节或字数据，而它们的触点状态则为位数据，不同形式的数据如何存放和调用完全由系统程序自动管理。

2. PLC 的逻辑部件

PLC 的软件提供了各种逻辑部件（软器件），经编程来完成逻辑控制功能。PLC 的逻辑部件如下：

（1）继电器逻辑——触点、线圈

用逻辑与、或、非等运算处理各种继电器逻辑的连接。各种逻辑部件只有“0”和“1”两种状态，状态“1”为 ON（得电），状态“0”为 OFF（失电）。与通常的物理（实际）继电器相比，“软”继电器有如下特点：

1）体积小，功耗低。

2）无触点，速度快，寿命长。

3）有无数个动合触点和动断触点供程序使用，且不必考虑触点的容量。

PLC 一般为用户提供三类继电器：

1）输入继电器：输入给 PLC 的现场信号。

2）输出继电器：具备一对物理触点，可以串接在负载回路中，以接通或断开负载。

3）内部继电器：与外部无联系，仅作运算的中间结果使用（辅助或中间继电器）。内部继电器分为两类：一类是掉电保护内部继电器，这类继电器掉电期间，原状态由内装电池维持；另一类是掉电不保护内部继电器，这类继电器掉电期间，该继电器状态为“OFF”。

（2）定时器逻辑

一般地，定时器应包含如下内容：

1）定时语句（指令）——选定所需的定时器，定时时基；

2）定时条件——控制定时器操作（使能 Bool）；

3）定时器当前值——存放的存储单元（Word）；

4）定时器的复位——当前值复零、状态位复位（Bool）；

5）定时设定值（预置值）及存放单元（Word）；

6）定时器状态（位）——定时器达到设定值时为“ON”（bit）。

（3）计数器逻辑

一般地，计数器应包含如下内容：

1）计数语句（指令）——选定所需的计数器（编号）；

2）计数信号——控制计数器操作（使能 Bool）；

3）计数器当前值——存放的单元（Word）；

4）计数器的复位——恢复设定值、状态位复位（Bool）；

5）计数设定值及存放单元（Word）；

6）计数器状态（位）——计数达到设定值时为“ON”，复位或未达到计数设定值时为“OFF”。

（4）触发器逻辑

触发器包括：置位输入 S 和复位输入 R。触发器还有复位优先或置位优先之分。

（5）移位寄存器

移位寄存器长度可变，以适应步进控制的需要。移位寄存器包含如下内容：

1）移位脉冲输入端 CP；

2）填充输入端 IN；

3）复位输入端 R。

（6）数据寄存器

数据寄存器用来存放数据。

2.2 PLC 各组成部件

2.2.1 各部件主要作用

与继电器-接触器控制系统类似，PLC 控制系统也是由输入部分、逻辑部分和输出部分组成。PLC 控制系统如图 2-6 所示。

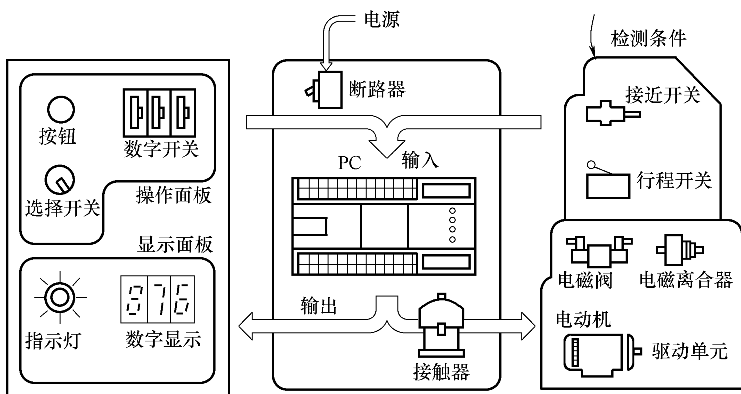


图 2-6 PLC 控制系统图

1）输入部分：收集并保存被控对象实际运行的数据和信息，例如来自被控对象上的各种开关信息或操作台上的操作命令等，如图 2-7 所示。

2）逻辑部分：处理输入部分所取得的信息，并按照被控对象实际的动作要求执行相应的逻辑功能。

3）输出部分：对需要实时操作的那些设备提供实际操作信号，如图 2-8 所示。

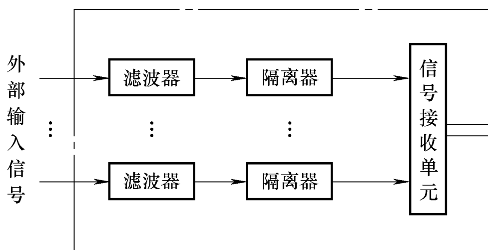


图 2-7 PLC 输入部分信号流程

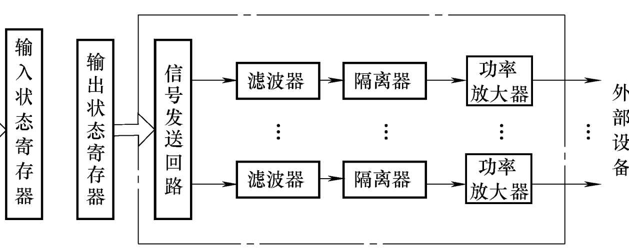


图 2-8 PLC 输出部分信号流程

由于输入信号一般为开关信号或电压、电流形成的信号源，它们必须转换成微处理器所能接收的电平信号，所以必须加入变换器。同样，微处理器输出的电平信号也必须转换成控制设备所需的开关信号或电压、电流信号，所以也要加入变换器。由此，构成的 PLC 控制系统的基本结构框图如图 2-9 所示。

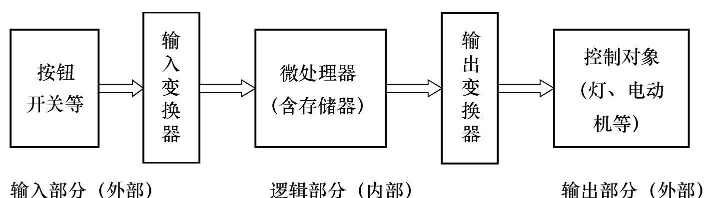


图 2-9　PLC 控制系统的基本结构框图

PLC 的控制原理为：将输入信息采入 PLC 内部，执行逻辑功能，输出达到控制要求。PLC 的逻辑部分由大规模集成电路构成的微处理器和存储器组成，对微处理器进行了软、硬件的开发，提供了许多适用于电气控制的逻辑部件。它主要有继电器逻辑（与、或、非运算）、定时器、计数器、移位寄存器、触发器等，均为“软”器件，并提供了描述这些逻辑部件的符号和语句的编程语言。

PLC 通过编程器编制控制程序，可以将 PLC 内部各种逻辑部件按照工艺要求进行组合，以实现一定的逻辑控制功能，具体各部分的功能如下。

2.2.2　CPU

CPU 是 PLC 的控制核心。与通用微型计算机的 CPU 一样，CPU 在 PLC 系统中的作用类似于人体的神经中枢。每台 PLC 至少有一个 CPU，它按 PLC 的系统程序赋予的功能接收并存储用户程序和数据，用扫描的方式采集由现场输入装置送来的状态或数据，并存入规定的寄存器中，同时诊断电源和 PLC 内部电路的工作状态和编程过程中的语法错误等。当 PLC 投入运行时，首先它以扫描的方式采集现场各输入装置的状态和数据，并分别存入 I/O 映像寄存区，然后从用户程序存储器中逐条读取用户程序，经过命令解释后按指令的规定执行逻辑或算数运算，并将结果送入 I/O 映像寄存区或数据寄存器内。等所有的用户程序执行完毕之后，最后将 I/O 映像寄存区的各输出状态或输出寄存器内的数据传送到相应的输出装置，去指挥有关的控制电路，如此循环直到停止运行。为了进一步提高 PLC 的可靠性，近年来对大型 PLC 还采用双 CPU 构成冗余系统，或采用三 CPU 的表决式系统，这样即使某个 CPU 出现故障，整个系统仍能正常运行。

CPU 模块的外部表现就是它的工作状态的种种显示、接口及设定或控制开关。一般来讲，CPU 模块总要有相应的状态指示灯，如电源显示、运行显示、故障显示等。箱体式 PLC 的主箱体也有这些显示。它的总线接口，用于接 I/O 模板或底板，有内部存储器接口，用于安装内部存储器，有外设接口，用于接外部设备，有的还有通信接口，用于进行通信。CPU 模块上还有许多设定开关，用以对 PLC 作设定，如设定起始工作方式、内部存储区等。

PLC 中的 CPU 芯片实际上就是微处理器，由于电路的高度集成，对 CPU 内部的详细分析已无必要，只要弄清它在 PLC 中的功能与性能，能正确地使用它就可以了。

目前大多数 PLC 都用 16 位或 32 位的 CPU，CPU 在 PLC 中的功能如下：

1）用扫描方式（后面将介绍）接收现场输入装置的状态或数据，并存入输入映像存储器或数据寄存器。

2）接收并存储从编程器输入的用户程序和数据，并通过显示器显示出程序的内容和存储地址。

3）诊断电源和 PLC 内部电路的工作状态及编程过程中的语法错误；根据故障或错误的类型，通过显示器显示出相应的信息，以提示用户及时排除故障或纠正错误。

4）在 PLC 进入运行状态后进行如下操作：

① 执行用户程序——产生相应的控制信号（从用户程序存储器中逐条读取指令，经命令解释后，按指令规定的任务产生相应的控制信号，去启闭有关的控制电路）；

② 进行数据处理——分时、分渠道地执行数据存取、传送、组合、比较、变换等动作，完成用户程序中规定的逻辑或算术运算任务；

③ 更新输出状态——输出实施控制（根据运算结果，更新有关标志位的状态和输出映像存储器的内容，再由输入映像存储器或数据寄存器的内容实现输出控制、制表、打印、数据通信等）。

PLC 主要使用以下几类 CPU 芯片：

1）通用微处理器——如 Intel 公司的 8086、80186 ~ Pentium 系列芯片；

2）单片微处理器（单片机）——如 Intel 公司的 MCS51/96 系列单片机；

3）位片式微处理器——如 AMD 2900 系列位片式微处理器。

2.2.3　存储器

PLC 常用的存储器类型如下：

1）RAM：它是一种读/写存储器（随机存取存储器），其存取速度最快，由锂电池支持。

2）EPROM：它是一种可擦除可编程的只读存储器，在断电情况下，存储器内的所有内容保持不变（在紫外线连续照射下可擦除存储器内容）。

3）EEPROM：它是一种电可擦除可编程的只读存储器，使用编程器就能很容易地对其所存储的内容进行修改。

PLC 的存储器按功能分为系统程序存储器、用户程序存储器和数据存储器 3 种。

1. 系统程序存储器

在系统程序存储区中存放着相当于计算机操作系统的系统程序，用来存放制造商为用户提供的监控程序、模块化应用功能子程序、命令解释程序、故障诊断程序及其他各种管理程序，由制造厂商将其固化在 EPROM 中，用户不能直接存取，它和硬件一起决定了该 PLC 的性能。程序固化在 ROM 中，用户无法改变。它使 PLC 具有基本的功能，能够完成 PLC 设计者规定的各项工作。系统程序质量的好坏，很大程度上决定了 PLC 的性能，其内容主要包括 3 部分：第 1 部分为系统管理程序，它主要控制 PLC 的运行，使整个 PLC 按部就班地工作；第 2 部分为用户指令解释程序，通过用户指令解释程序，将 PLC 的编程语言变为机器语言指令，再由 CPU 执行这些指令；第 3 部分为标准程序模块与系统调用程序，它包括许多不同功能的子程序及其调用管理程序，如完成输入、输出及特殊运算等的子程序，PLC 的具体工作都是由这部分程序来完成的，这部分程序的复杂程度决定了 PLC 性能的强弱。

2. 用户程序存储器

存放用户程序和数据的存储器称为用户程序存储器，所以它又分为用户程序存储器和数据存储器两部分。系统程序直接关系到 PLC 的性能，不能由用户直接存取，所以通常 PLC 产品资料中所指的存储器形式或存储方式及容量，是针对用户程序存储器而言的。它专门提供给用户存放程序和数据，决定了 PLC 的输入信号与输出信号之间的具体关系。不同类型的 PLC，其存储容量各不相同，其容量一般以字（每个字由 16 位二进制数组成）为单位。

用户程序存储器根据所选用的存储器单元类型的不同，可以是 RAM（用锂电池进行掉电保护）、EPROM 或 EEPROM（电可擦写可编程只读存储器）存储器，其内容可以由用户任意修改或增删。目前较先进的 PLC 采用可随时读写的快闪存储器作为用户程序存储器，快闪存储器不需后备电池，掉电时数据也不会丢失。

3. 数据存储器

工作数据存储器用来存储工作数据，即用户程序中使用的 ON/OFF 状态、数值数据等。在工作数据区中开辟有元件映像寄存器和数据表：元件映像寄存器用来存储开关量输入/输出状态以及定时器、计数器、辅助继电器等内部器件的 ON/OFF 状态；数据表用来存放各种数据，它存储用户程序执行时的某些可变参数值及经过 A/D（模/数）转换得到的数字量和数学运算的结果等。在 PLC 断电时能保持数据的存储器区称数据保持区。

数据存储器包括 I/O 映像寄存区以及各类软元件，如逻辑线圈、数据寄存器、定时器、计数器、变址寄存器、累加器等存储器。

1）I/O 映像寄存区：由于 PLC 投入运行后，只是在输入采样阶段才依次读入各输入状态和数据，在输出刷新阶段才将输出的状态和数据送至相应的外设，因此它需要一定数量的存储单元（RAM）以存放 I/O 的状态和数据，这些单元称作 I/O 映像寄存区。一个开关量 I/O 占用存储单元中的一个位，一个模拟量 I/O 占用存储单元中的一个字，因此整个 I/O 映像寄存区可看作由两个部分组成，即开关量 I/O 映像寄存区和模拟量 I/O 映像寄存区。

2）系统软元件存储区：除了 I/O 映像寄存区以外，系统 RAM 存储区还包括 PLC 内部各类软元件（如逻辑线圈、定时器、计数器、数据寄存器和累加器等）的存储区。该存储区又分为具有失电保持的存储区域和失电不保持的存储区域，前者在 PLC 断电时由内部的锂电池供电，数据不会丢失；后者当 PLC 断电时，数据被清零。

PLC 的存储器结构如图 2-10 所示。

如前所述，PLC 存储用的程序存储器有的预先安装在 PLC 内，有的选件存储器则根据需要安装。在存储器容量设定中，指定这些领域用于什么目的，可在该领域具体分配注释与文件寄存器。表 2-1 所示为三菱 FX_{2N}、FX_{2NC}系列 PLC 存储器容量。

表 2-1　三菱 FX_{2N}、FX_{2NC}系列 PLC 存储器容量　　（单位：步）

		存储器种类			
			可选存储器		
机型	设定内容	内置储存器	（FX_{2N}系列） FX-EEPROM-4 （FX_{2NC}系列） FX_{2NC}-EEPROM-4C	（FX_{2N}系列） FX-EEPROM-8	（FX_{2N}系列） FX-EEPROM-16 FX-EEPROM-8 FX-RAM-8 （FX_{2NC}系列） FX_{2NC}-EEPROM-16 FX_{2NC}-EEPROM-16C
FX_{2N} FX_{2NC}	定时器顺控程序	0.5～8k	0.5～4k	0.5～8k	0.5～16k
	文件寄存器	0～7k	0～4k	0～7k	0～7k
	注释	0～8k	0～4k	0～8k	0～16k
	合计	最大 8k 2k/4k 模式也可以	最大 4k 2k/4k 模式也可以	最大 8k 2k/4k 模式也可以	最大 16k 2k/4k/8k 模式也可以

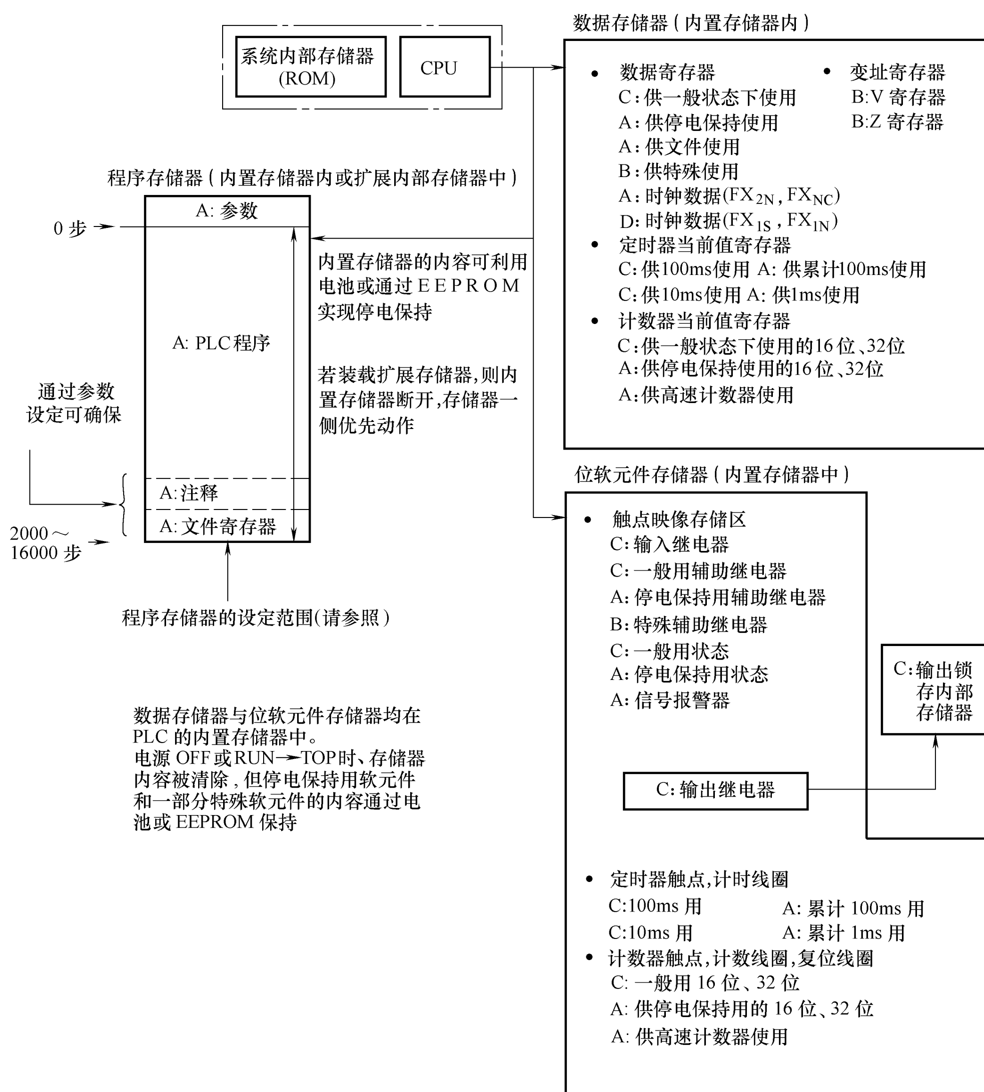


图 2-10　PLC 的存储器结构

注：图中 A、B 和 C 代表存储器种类，A 为电池、Flash Memory 后备支持存储器；B 为特 M、特 D、变址寄存器；C 为其他非后备支持系列的存储器。

2.2.4　PLC I/O 接口

I/O 部件是 CPU 与现场 I/O 装置或其他外部设备之间的连接部件。PLC 的对外功能主要是通过各种 I/O 接口模块与外界联系的，按 I/O 点数确定模块规格及数量，I/O 模块可多可少，但其最大数受 CPU 所能管理的基本配置的能力，即受最大的底板或机架槽数限制。I/O 模块集成了 PLC 的 I/O 电路，其输入暂存器反映输入信号状态，输出点反映输出锁存器状态。

1. 开关量I/O 接口

（1）输入接口电路

开关量输入接口电路用于采集从按钮、选择开关、数字拨码开关、限位开关、接近开关、光电开关、压力继电器等传来的开关量输入信号，并将这些信号转换成 CPU 所能接受和处理的数字信号。

图 2-11 所示就是采用光耦合器（一般采用反光二极管和光敏晶体管组成）的开关量输入接口电路。

一般单元式 PLC 中输入接口单元都使用 PLC 本身的直流电源供电，不再需要外接电源。

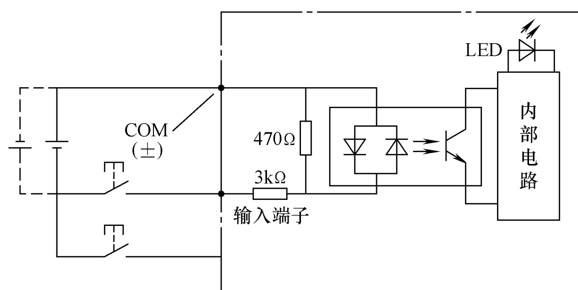


图 2-11　输入接口电路

（2）输出接口电路

输出接口用于将经主机处理过的结果通过输出电路驱动输出设备（如接触器、电磁阀、指示灯等）。输出接口采用光耦合电路，将 CPU 处理过的信号转换成现场需要的强电信号输出，以驱动接触器、电磁阀等外部设备的通断电。PLC 的输出有继电器输出（R）、晶闸管输出（S）和晶体管输出（T）三种输出形式。

1）继电器输出型：有触点输出方式，用于接通或断开开关频率较低的直流负载或交流负载回路，但接通断开的频率低，如图 2-12 所示。

2）晶闸管输出型：无触点输出方式，用于接通或断开开关频率较高的交流电源负载，如图 2-13 所示。

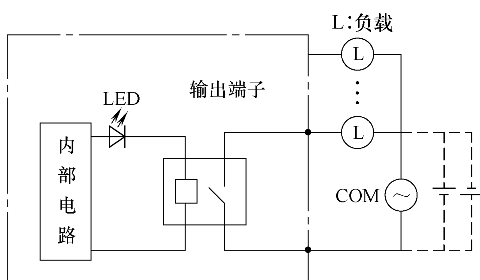


图 2-12　继电器输出型

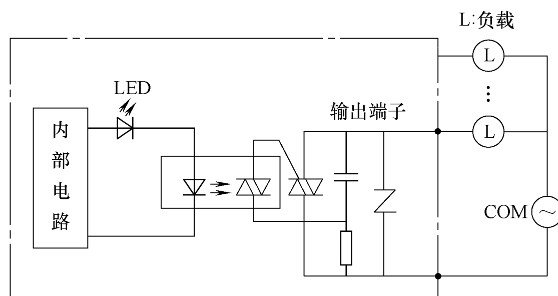


图 2-13　晶闸管输出型

3）晶体管输出型：无触点输出方式，用于接通或断开开关频率较高的直流电源负载，如图 2-14 和图 2-15 所示。

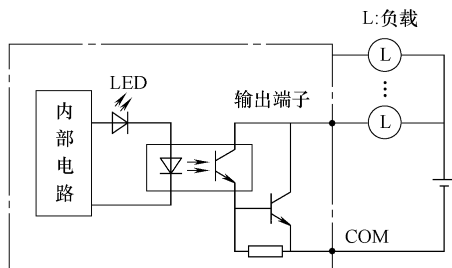


图 2-14　晶体管输出型（NPN 型，集电极开路）

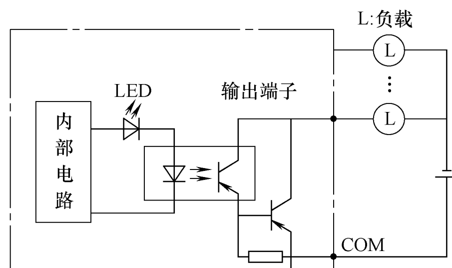


图 2-15　晶体管输出型（PNP 型，集电极开路）

PLC 提供了各种操作电平与驱动能力的 I/O 模块，以及各种用途的 I/O 组件供用户选用，如 I/O 电平转换、电气隔离、串/并行转换、数据传送、A/D 转换、D/A 转换、误码校验以及其他功能模块等。

I/O 模块可与 CPU 放在一起，也可远程放置。通常，I/O 模块上还具有状态显示和 I/O 接线端子排。

2. 模拟量I/O 接口模块

PLC 要在过程控制领域得以应用，模拟量的 I/O 接口模块是不可或缺的重要部件，其主要功能是进行数据转换。模拟量的 I/O 接口模块与 PLC 的基本单元的总线相连，由 CPU 调用和处理其数据。

（1）模拟量输入接口

某些输入量是连续变化的模拟量，如压力、流量、温度、转速等，而某些执行机构要求 PLC 输出模拟信号，如伺服电动机、调节阀、记录仪等，PLC 的 CPU 只能处理数字量，这就产生了将模拟信号转换成数字信号及将数字信号转换成模拟信号的模拟量 I/O 模块。模拟量输入接口的作用是把现场连续变化的模拟量标准信号转换成适合 PLC 内部处理的由若干位二进制数字表示的信号，经 PLC 进行数字运算后，将数字量转换成模拟量输出，再去控制执行机构。模拟量输入接口接收标准模拟信号，无论是电压信号还是电流信号均可。这里标准信号是指符合国际标准的通用交互用电压、电流信号值，如 4 ~ 20mA 的直流电流信号，1 ~ 10V 的直流电压信号等。工业现场中模拟量信号的变化范围一般是不标准的，在送入模拟量接口时一般都需经变送处理才能使用。

模拟量首先被传感器和变送器转换为标准的电流或电压，通过 A/D 转换器将模拟量变成数字量送入 PLC，PLC 根据数字量的大小便能判断模拟量的大小。如测速发电机随着电动机速度的变化其输出的电压发生变化，其输出的信号通过变送器后送入 A/D 转换器，变成数字量，PLC 对此信号进行处理便可知速度的快慢。图 2-16 所示为 A/D 转换的过程。

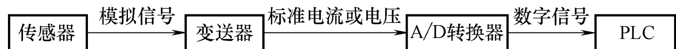


图 2-16　A/D 转换过程图

图 2-17 所示为模拟量输入接口的内部电路框图。

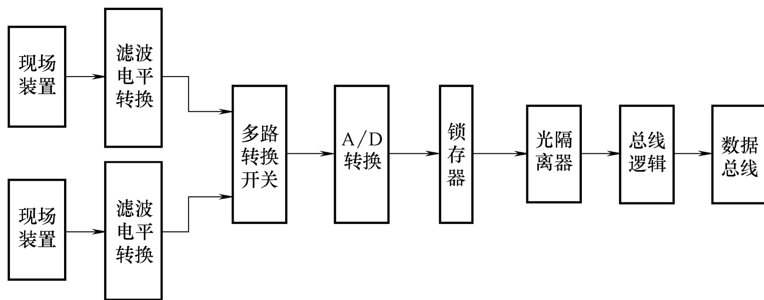


图 2-17　模拟量输入接口的内部电路框图

模拟量信号输入后一般经运算放大器放大后进行 A/D 转换，再经光耦合器后为 PLC 提供一定位数的数字量信号，其特点为：

1）输入信号可以是电压（0～10V），也可以是电流（4～20mA）；

2）每路输入经过前置放大保证高输入阻抗和线性度；

3）每路输入完全隔离，都有自己的公共端，都有 LED 显示；

4）每路输入均经过光隔离器进入输入锁存器；

5）各路输入需经多路选择开关选择后，分别进行 A/D 转换。

执行时，当程序扫描到读模拟量指令时，由程序指定的输入通道的模拟量信息被采集，经 A/D 转换后从锁存器经总线送到指定的数据寄存器。此接口电路完全受 PLC 主机控制。4 路模拟量输入接口模块（A/D 转换器）如图 2-18 所示。

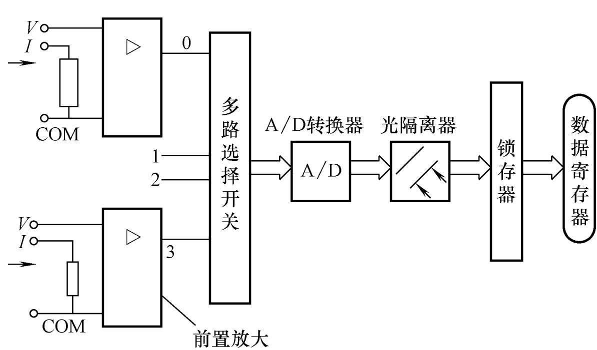


图 2-18　4 路模拟量输入接口模块

（2）模拟量输出接口

模拟量输出接口的作用是将 PLC 运算处理后的若干位数字量信号转换为响应的模拟量信号输出，以满足生产过程现场连续控制信号的需求。模拟量输出接口一般由光隔离器、D/A 转换器和信号驱动等环节组成。

D/A 转换器的作用是将 PLC 的数字输出量转换成模拟电压或电流，之后再去控制执行机构，图 2-19 所示为 D/A 转换过程。



图 2-19　D/A 转换过程图

图 2-20 所示为模拟量输出接口的内部原理框图。

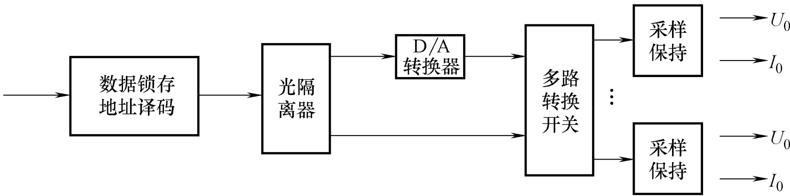


图 2-20　模拟量输出接口的内部原理框图

模拟量输出接口一般安装在专门的模拟量工作单元上，其特点如下：

1）输出信号可以是电压（0～10V 或-10～＋10V），也可以是电流（4～20mA）；

2）各路输出完全隔离，有自己独立的锁存器、光隔离器、D/A 转换器、LED 显示器和输出放大驱动电路。

执行时，PLC 两次输出操作之间，端子上的模拟量保持不变（锁存器内容每周期刷新一次）。由于 PLC 的扫描速度为毫秒级，所以可以认为输出没有台阶，输出是平滑的。

2 路模拟量输出接口模块如图 2-21 所示。

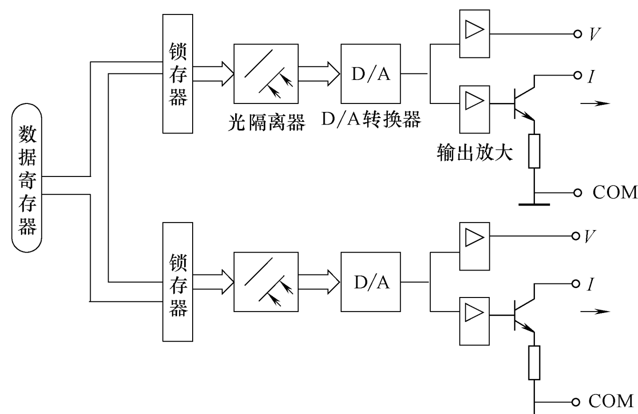


图 2-21　2 路模拟量输出接口模块

3. 智能I/O 接口

为了适应较复杂的控制工作的需要，PLC 还有一些智能控制单元，如 PID（比例、积分、微分）工作单元、高速计数器工作单元、温度控制单元等。这类单元大多是独立的工作单元，它们和普通 I/O 接口的区别在于其一般带有单独的 CPU，有专门的处理能力。在具体的工作中，每个扫描周期智能单元和主机的 CPU 交换一次信息，共同完成控制任务。从近期的发展来看，不少新型的 PLC 本身也带有 PID 功能及高速计数器接口，但它们的功能一般比专用智能输入输出单元的功能稍弱。

PLC I/O 接口等效电路如图 2-22 所示。

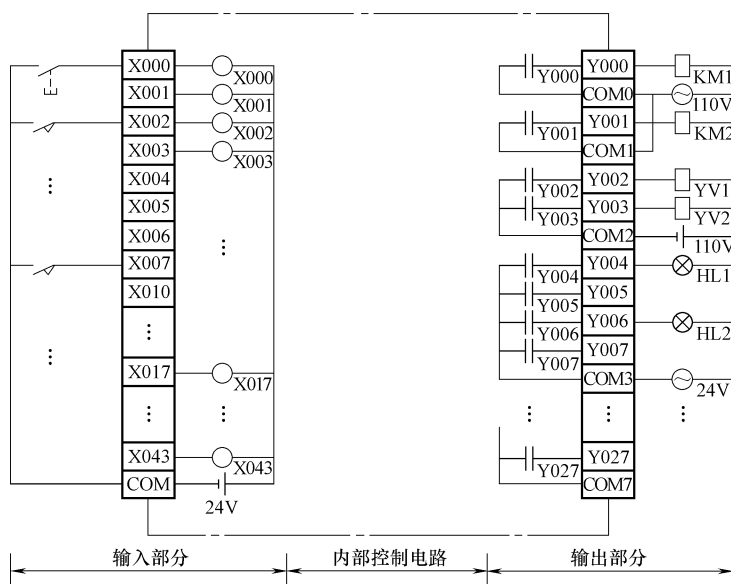


图 2-22　PLC I/O 接口等效电路图

PLC 输出公共端与输出各组之间形成回路，从而驱动负载。输出电路的负载电源由外部提供，负载电流一般不超过 2A。使用中，输出电流额定值与负载性质有关。

输出端子有两种接线方式：

1）输出各自独立（无公共点)，其接线图示如图 2-23 所示。

2）每 4 ~8 个输出点构成一组，公用一个公共点，其接线图示如图 2-24 所示。

注意：输出公用一个公共点时，同组用同一电压类型和等级，不同组之间可以用不同类型和等级的电压。

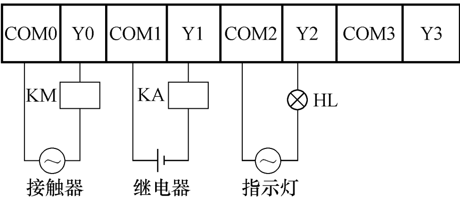


图 2-23　输出各自独立接线图示

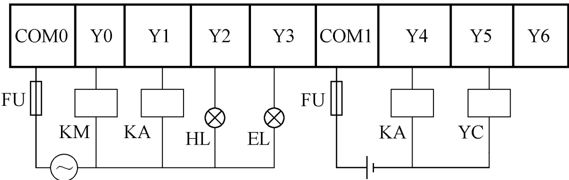


图 2-24　输出分组接线图示

2. 2. 5　PLC 的外部设备

外部设备是 PLC 系统不可分割的一部分，它有四大类。

1. 编程设备

编程器是 PLC 很重要的外部设备，它主要由键盘、显示器组成。编程器有简易编程器和智能图形编程器，小型 PLC 常用简易编程器，大、中型 PLC 多用智能图形编程器。编程器的作用是编制用户程序并送入 PLC 程序存储器，利用编程器可对系统作一些设定、检查、修改、调试用户程序和在线监控 PLC 及 PLC 所控制的系统的工作状况。编程器是 PLC 开发应用、监测运行、检查维护不可缺少的器件，但它不直接参与现场控制运行。手持编程器采用助记符语言编程，具有编辑、检索、修改程序、进行系统设置、内部存储器监控等功能，可一机多用，具有使用方便、价格低廉的特点。它的缺点不够直观。可通过 PLC 的 RS232 外设通信口（或 RS422 通信口配以适配器）与计算机联机，利用专用工具软件（NPST-GR、FPSOFT、FPWIN-GR）对 PLC 进行编程和监控。利用计算机进行编程和监控比利用手持编程工具更加直观和方便。编程器与 PLC 的连接如图 2-25 所示。

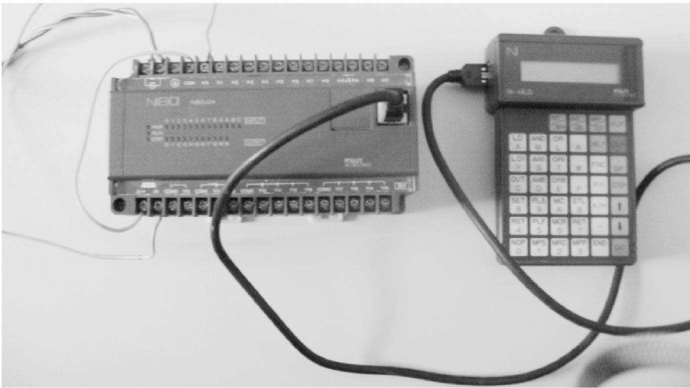


图 2-25　编程器与 PLC 的连接

2. 监控设备

有数据监视器和图形监视器，直接监视数据或通过画面监视数据。

3. 存储设备

有存储卡、存储磁带、软磁盘或 ROM，用于永久性地存储用户数据，使用户程序不丢失，如 EPROM、EEPROM 写入器等。

4. I/O 设备

用于接收信号或输出信号，一般有条形码读入器、输入模拟量的电位器、打印机等。

2.2.6 电源

PLC 的电源是指将外部输入的交流电处理后转换成满足 PLC 的 CPU、存储器、I/O 接口等内部电路工作需要的直流电源电路或电源模块。许多 PLC 的直流电源采用直流开关稳压电源，不仅可提供多路独立的电压供内部电路使用，而且还可为输入设备提供标准电源。其主要用途是为 PLC 各模块的集成电路提供工作电源，同时有的还为输入电路提供 24V 的工作电源。有些 PLC 中的电源是与 CPU 模块合二为一的，有些是分开的，电源按其输入类型分有交流电源和直流电源两种。交流电源为交流电压，常用的为 220V 或 110V；直流电源为直流电压，常用的为 24V。

PLC 的电源在整个系统中起着十分重要的作用，如果没有一个良好的、可靠的电源系统那是无法正常工作的，因此 PLC 的制造商对电源的设计和制造也十分重视。一般交流电压波动在 +10% （+15%） 范围内，可以不采取其他措施而将 PLC 直接连接到交流电网上去。如 FX_{1S}额定电压为交流 100 ~240V，而电压允许范围在交流 85 ~264V 之间。允许瞬时停电在 10ms 以下，能继续工作。

一般小型 PLC 的电源输出分为两部分：一部分供 PLC 内部电路工作；一部分向外提供给现场传感器等的工作电源。因此 PLC 对电源有如下基本要求：

1）能有效地控制、消除电网电源带来的各种干扰；

2）电源发生故障不会导致其他部分产生故障；

3）允许较宽的电压范围；

4）电源本身的功耗低、发热量小；

5）内部电源与外部电源完全隔离；

6）有较强的自保护功能。

内部电源为开关稳压电源，供内部电路使用；大多数机型还可以向外提供直流 24V 稳压电源，为现场的开关信号、外部传感器供电。

外部电源可用一般工业电源，并备有锂电池（备用电池），使外部电源出现故障时内部重要数据不致丢失。

2.2.7 其他模块

1. 高速计数模块

PLC 梯形图程序中的计数器最高工作频率受扫描周期的限制，一般仅为几十赫兹。在工业控制中，有时要求 PLC 有快速计数功能，计数脉冲可能来自旋转编码器、机械开关或电子开关。高速计数模块可以对几万赫兹的脉冲计数，它们大多有一个或几个开关量输出点，计数器的当前值等于或大于预置值时，可通过中断程序及时地改变开关量输出的状态。这一

过程与 PLC 的扫描过程无关，可以保证负载被及时驱动。FX_{2N} 的高速计数模块 FX_{2N}-1HC 可以单相/双相 50kHz 高速计数，用外部输入或通过 PLC 的程序可使计数器复位或启动计数过程，它可与编码器连接。

2. 位置控制模块

这类模块一般带有微处理器，用来控制运动物体的位置、速度和加速度，它可以控制直线运动或旋转运动、单轴或多轴运动。它们使运动控制与 PLC 的顺序控制功能有机地结合在一起，被广泛地应用在机床、装配机械等场合。

位置控制一般采用闭环控制，用伺服电动机作驱动装置。如果用步进电动机作驱动装置，那么既可以采用开环控制，也可以采用闭环控制。模块用存储器来存储给定的运动曲线。

3. 通信模块

PLC 具有通信连网的功能，它使 PLC 与 PLC 之间、PLC 与上位计算机以及其他智能设备之间能够交换信息，形成一个统一的整体，实现分散集中控制。现在几乎所有的 PLC 新产品都有通信连网功能，它和计算机一样具有 RS232 通信口，通过双绞线、同轴电缆或光缆，可以在几千米甚至几十千米的范围内交换信息。当然，PLC 之间的通信网络是各厂家专用的，PLC 与计算机之间的通信一些生产厂家采用工业标准总线，并向标准通信协议靠拢，这将使不同机型的 PLC 之间、PLC 与计算机之间可以方便地进行通信与连网。

通信模块是通信网络的窗口。通信模块用来完成与别的 PLC、其他智能控制设备或主计算机之间的通信。远程 I/O 系统也必须配备相应的通信接口模块。

4. 人机接口

随着科学技术的不断发展以及自动化控制的需要，PLC 的控制日趋完美，许多品牌的 PLC 都配备了种类繁多的显示模块和图形操作终端（人机界面）作为人机接口。

（1）显示模块

以三菱 FX-10DM-E 显示模块为例，FX-10DM-E 显示模块可安装在面板上，用电缆与 PLC 连接，它有 5 个键和带背光的 LED 显示器，可显示两行数据，每行 16 个字符，可用于各种型号的 FX 系列 PLC。它可监视和修改定时器（T）、计数器（C）的当前值，监视和修改数据寄存器（D）的当前值。FX-10DM-E 显示模块如图 2-26 所示。

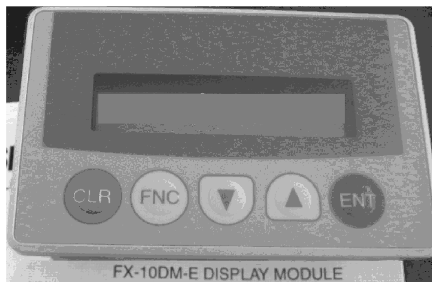


图 2-26　FX-10DM-E 显示模块

（2）图形操作终端（人机界面）

图形操作终端（人机界面），在液晶画面中可以显示各种信息、图形，还可以自由显示指示灯、PLC 内部数据、棒图、时钟等内容。同时，可以配置设备的状态，使设备的运行状况一目了然。图形操作终端（人机界面）配置有触摸屏，可以在画面中设置开关键盘，只需触按屏幕即可完成操作。画面的内容可以通过专用的画面制作软件非常简便地创建，制作过程就是从库中调用、配置所需部件的设计过程。图 2-27 所示为三菱 2010 年推出的 GOT1000 系列图形操作终端（GT12 机型）。



图 2-27　三菱图形操作终端 GOT1000 系列（GT12 机型）

2.3　PLC 常用外部器件

PLC 技术应用的关键是掌握 PLC 的指令系统，根据生产设备的控制要求编制应用程序，而后在生产现场进行安装及调试，其中外部器件对于 PLC 系统的正常运行起着重要作用，下面将对 PLC 常用的外部器件作简单介绍。

2.3.1　常用输入设备

1. 按钮与各类开关

按钮和开关是自动控制系统中常用的元器件，按钮、开关常用于发送控制指令，故将按钮、开关称为主令电器。用于开关量控制的 PLC 控制系统的信号输入部分，就是由按钮、行程开关、光电开关等主令电器所构成的。

控制按钮一般用作短时间的接通或断开小电流电路的开关。按钮种类大致有如下几种：

指示灯式按钮（指示）、紧急故障处理的蘑菇状按钮（引人注意）、钥匙状旋式按钮（安全）、旋钮式按钮（自锁）等。

按钮的颜色一般有红、绿、黑、黄、白、蓝等，习惯上红色用于停止按钮，绿色用于起动按钮。按钮的工作电压也是多样的，有交流的，也有直流的。

控制按钮的形式较多，但是它们的基本功能是一样的，那就是为 PLC 提供用于开关量控制的开关信号，用户可根据不同的情况进行选择。

按钮的结构与符号如图 2-28 所示，由按钮帽、复位弹簧、桥式触点和外壳组成。

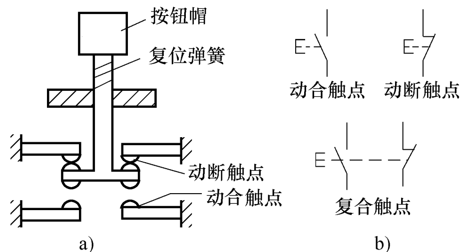


图 2-28　按钮的结构与符号

2. 限位开关

限位开关用于自动往复控制或限位保护等。限位开关可以根据运动部件的位置来切换电路。工作时由挡块和限位开关的轮子或触杆相撞使限位开关的触点接通或断开，常用于控制

运动部件的方向、行程长短、位置。

限位开关按照工作原理一般分为机械式和电子式两种，常用型号为 LX19、JLXK1，它们具备一个动合、一个动断两对触点，并有单轮式自复位和双轮式非自复位两种类型。微动开关 LXW-11 及 JLXW1-11 具有体积小、动作灵敏的特点。

3. 接近开关（无触点行程开关）

接近开关通过感辨头与被测物体间介质能量的变化来获取信号，用于行程控制和限位保护，还可用于高频计数、测速、液面控制、检测零件尺寸、加工程序的自动衔接等。接近开关工作稳定可靠、寿命长、重复定位精度高、动作迅速、操作频率高，故在 PLC 控制系统中使用较多。

按其感辨机构的工作原理可分为高频振荡型、电容型、感应电桥型、永磁型、霍尔效应型、光电型、超声波型等，其技术指标包括动作距离、重复精度、操作频率和复位行程。

4. 光电开关

随着生产自动化程度的提高，光电开关的功能在不断完善，现已成为与 PLC 相配套的系列产品，广泛用于自动包装、打胶、灌装、封装机以及自动装配流水线等。

光电开关具有许多优点，它体积小、功能强、速度快、精度高、抗电磁干扰能力强、作用距离较晶体管接近开关大且可对非金属材料直接检测。

光电开关分为透射型和反射型两类：透射型是发射器（光源）与接收器相对放置，发射器发射的红外线直接照射到接收器上，当生产线上有物体通过时，将红外线光源切断遮挡住了，接收器收不到红外光于是就发出一个信号；反射型是根据光反射方式的不同，又分为镜反射和被测物体反射两种。镜反射的接收部分和发射部分合做在一起，发射部分发射的红外光由反射镜反射回来，被接收部分接收，当生产线上的物体通过时，接收部分接收不到红外光，于是就发出一个信号。被测物体反射是依靠被测物体对光的反射，接收器接收到物体反射的红外线，从而给出信号。

5. 传感器

传感器种类繁多，而且还在不断地涌现大量新型的传感器。一般传感器有两种分类方法：一种以被测参量来划分，另一种以传感器的工作原理来划分，表 2-2 以被测参量来进行传感器的分类。

表 2-2　传感器的分类

被测参量类别	被 测 参 量
温度	温度、热量、比热容、热导率等
电	电流、电压、电场、电位、电功率、电荷、电阻、电容、电感、电磁波、阻抗等
磁	磁通、磁场、磁导率等
光	照度、亮度、色、紫外线、可见光、红外线、X 射线、Y 射线等
机械	长度、厚度、位置、位移、变形、斜位、角度、速度、加速度、精度、质量、重量、力、压力、力矩、流速、流量、振动等
化学	气体成分、液压成分、pH 值、气味、黏度、密度等

PLC 系统的检测质量优劣关键在于传感器的选择。选择传感器时可以借助于传感器分类表按被测量的性质，从典型应用中可以初步确定几种可供选用的传感器类别；或者借助于几

种常用的传感器比较表，按被检测量的检测范围、精度要求、环境要求等确定传感器的结构形式和传感器最后类别；也可借助于传感器的产品目录选择样本查出传感器的规格、型号、性能和尺寸。

2.3.2 常用输出设备

PLC 控制对象是各种各样的，有电动、气动和液压的。其负载的大小和种类各不相同，但是对于 PLC 本身而言，它的输出模块基本上有三种：继电器型、双向晶闸管型和晶体管型。PLC 承受负载的能力也是有限的，它如何带动这些庞大的机械电气设备的？PLC 与这些被控对象之间需要有一个环节，它就是执行装置。一般 PLC 系统中的执行装置有以下两种：

1. 接触器或继电器

接触器或继电器是实现电气控制中强电与弱电的接口，接触器用于频繁地接通和断开大电流电路的开关电器。图 2-29 所示为交流接触器的外形与结构示意图。

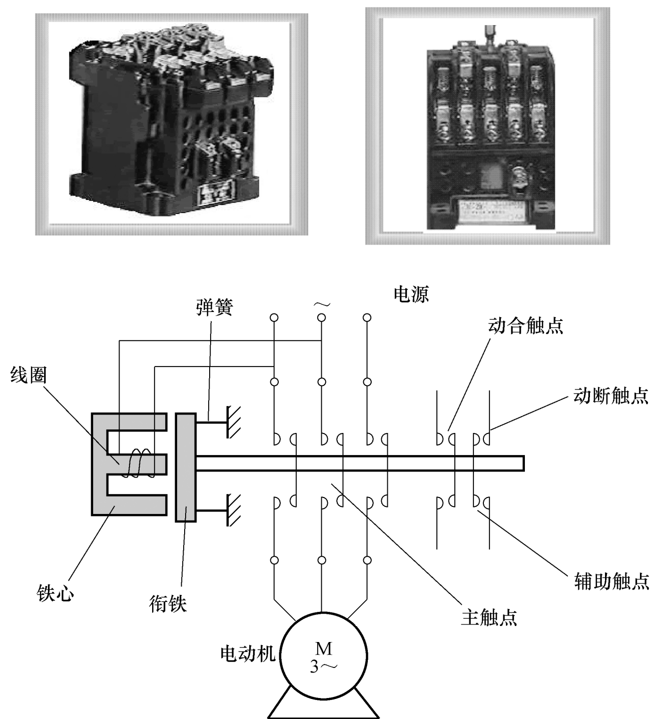


图 2-29 交流接触器的外形与结构示意图

继电器用于小电流的控制电路。输入电量或非电量，如电压、电流、温度、流量、压力、速度、时间、位置；输出为开关点的状态。

继电器按工作原理分类可分为电磁式、感应式、电动式、机械式、电子式或温度调节式；按输出形式可分为有、无触点式继电器；按用途可分为控制或保护继电器。

2. 执行器

执行器由执行机构和调节阀（又称调节机构）两部分组成，它在控制系统中的作用是根据调节器的命令直接带动调节阀，控制进出控制装置的物料或能量，改变调节参数，达到

调节温度、压力、流量、液位等目的。

执行器根据使用的能源不同可分为气动、电动和液动三种，目前工业生产中使用最多的是气动执行器和电动执行器两种。

2.4　PLC 的工作原理

2.4.1　PLC 的工作方式

最初研制生产的 PLC 主要用于代替传统的由继电器接触器构成的控制装置，但这两者的运行方式是不相同的。

1）继电器控制装置采用硬逻辑并行运行的方式，即如果这个继电器的线圈通电或断电，该继电器所有的触点（包括其动合触点或动断触点）在继电器控制线路相应的各个位置上都会立即同时动作。

2）PLC 的 CPU 则采用顺序逻辑扫描用户程序的运行方式，即如果一个输出线圈或逻辑线圈被接通或断开，那么该线圈的所有触点（包括其动合触点或动断触点）不会立即动作，必须等扫描到该触点时才会动作。

为了消除两者之间由于运行方式不同而造成的差异，考虑到继电器控制装置各类触点的动作时间一般在 100ms 以上，而 PLC 扫描用户程序的时间一般均小于 100ms，因此 PLC 采用了一种不同于一般微型计算机的运行方式——扫描技术。这样在对于 I/O 响应要求不高的场合，PLC 与继电器控制装置在处理结果上就没有什么区别了。

由于 PLC 以微处理器为核心，故具有微型计算机的许多特点，但它的工作方式却与微型计算机有很多不同之处。微型计算机一般采用等待命令的工作方式，如常见的键盘扫描方式或 I/O 扫描方式，若有键按下或有 I/O 变化，则转入相应的子程序，若无则继续扫描等待；PLC 则是采用循环扫描的工作方式。对每个程序，CPU 从第一条指令开始执行，按指令步序号作周期性的程序循环扫描。如果无跳转指令，则从第一条指令开始逐条执行用户程序，直至遇到结束符后又返回第一条指令，如此周而复始不断循环，每一个循环称为一个扫描周期。扫描周期的长短主要取决于以下三个因素：一是 CPU 执行指令的速度；二是执行每条指令占用的时间；三是程序中指令条数的多少。

当 PLC 投入运行后，其工作过程一般分为输入采样、用户程序执行和输出刷新三个阶段。完成上述三个阶段称作一个扫描周期，在整个运行期间，PLC 的 CPU 以一定的扫描速度重复执行上述三个阶段。

1. 输入刷新阶段

在输入采样阶段，PLC 以扫描方式扫描所有输入端子，依次地读入所有输入状态和数据，并将它们存入 I/O 映像区中相应的单元内，此时输入映像存储器被刷新。输入采样结束后，将关闭输入端口，转入用户程序执行和输出刷新阶段。在这两个阶段中，输入映像存储器与外界隔离，即使输入状态和数据发生变化，I/O 映像区中相应单元的状态和数据也不会改变，而这些变化直到下一个扫描周期的输入采样阶段才重新写入输入端的新内容。因此，如果输入是脉冲信号，则该脉冲信号的宽度必须大于一个扫描周期才能保证在任何情况下该输入均能被读入。

2. 程序执行阶段

在用户程序执行阶段，PLC 总是按由上而下的顺序依次地扫描用户程序（梯形图）。在扫描每一条梯形图时，又总是先扫描梯形图左边的由各触点构成的控制电路，然后按先左后右、先上后下的顺序对由触点构成的控制电路进行逻辑运算。当指令中涉及 I/O 状态时，PLC 就从输入映像存储器“读入”上一阶段采入的对应输入端子状态，从映像存储器“读入”对应器件（“软继电器”）的当前状态。然后，进行相应的运算，根据逻辑运算的结果，刷新该逻辑线圈在系统 RAM 存储区中对应位的状态；或者刷新该输出线圈在 I/O 映像区中对应位的状态；或者确定是否要执行该梯形图所规定的特殊功能指令。即在用户程序执行过程中，只有输入点在 I/O 映像区内的状态和数据不会发生变化，而其他输出点和软设备在 I/O 映像区或系统 RAM 存储区内的状态和数据都有可能发生变化，而且排在上面的梯形图其程序执行结果会对排在下面的凡是用到这些线圈或数据的梯形图起作用；相反，排在下面的梯形图，其被刷新的逻辑线圈的状态或数据只能到下一个扫描周期才能对排在其上面的程序起作用。

3. 输出刷新阶段

当所有指令执行完毕后，将输出状态寄存器中的内容依次送到输出锁存电路（输出映像存储器），并通过一定输出方式输出，驱动外部相应执行器件工作，这才形成 PLC 的实际输出。

由此可见，输入刷新、程序执行和输出刷新三个阶段构成 PLC 的一个工作周期，由此循环往复，因此称为循环扫描工作方式。由于输入刷新阶段是紧接输出刷新阶段后马上进行的，所以亦将这两个阶段统称为 I/O 刷新阶段。实际上，除了执行程序和 I/O 刷新外，PLC 还要进行各种错误检测（自诊断功能）并与编程工具通信，这些操作统称为“监视服务”，一般在程序执行之后进行。综上所述，PLC 的扫描工作过程如图 2-30 所示。

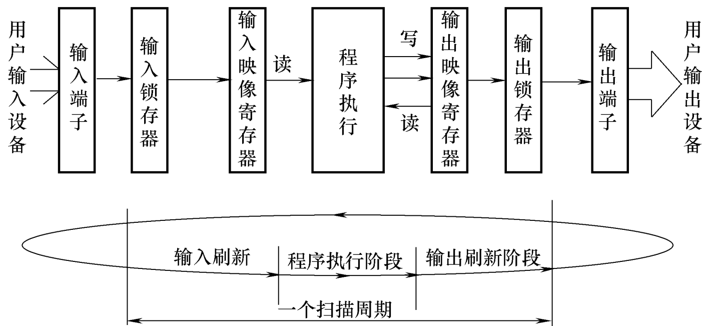


图 2-30　PLC 的扫描工作过程

显然扫描周期的长短主要取决于程序的长短，扫描周期越长，响应速度越慢。由于每个扫描周期只进行一次 I/O 刷新，即每个扫描周期 PLC 只对 I/O 状态寄存器更新一次，所以系统存在 I/O 滞后现象，这在一定程度上降低了系统的响应速度。但是由于其对 I/O 的变化每个周期只输出刷新一次，并且只对有变化的进行刷新，这对一般的开关量控制系统来说是完全允许的，不但不会造成影响，还会提高抗干扰能力。这是因为输入采样阶段仅在输入刷新阶段进行，PLC 在一个工作周期的大部分时间内是与外设隔离的，而工业现场的干扰常常是脉冲、短时间的，其误动作将大大减小。但是在快速响应系统中就会造成响应滞后现象，

这个一般 PLC 都会采取高速模块。

总之，PLC 采用扫描的工作方式是区别于其他设备的最大特点之一，在学习和使用 PLC 时都应加强注意。

2.4.2　PLC 的工作过程和特点

1. 数据I/O 状态刷新

它包括采样输入信号和送出处理结果两个过程。

1）输入映像存储器及其刷新——对应于输入端子状态的数据区。PLC 中的 CPU 是不能直接与外部接线端子打交道的。在输入采样阶段，首先扫描所有输入端子，经过输入调理电路（光电隔离、电平转换、滤波处理等）后进入输入缓冲器等待采样。没有 CPU 的采样“允许”，外界的输入信号是不能进入内部存储器的。当 CPU 采样时，输入信号便进入输入映像存储器——刷新。接着进入程序的执行阶段，直至信号输出。在此期间，输入映像存储器将现场与 CPU 隔离，无论输入信号如何变化，输入映像存储器中的内容都保持到下一个扫描周期的输入采样阶段才重新采样新的信号，即输入映像存储器每周期刷新一次。

由于，PLC 扫描周期一般仅为几十毫秒，两次采样之间的间隔时间很短，对一般的开关量而言，可以认为采样是连续的且不会影响对现场信息的反应速度。

2）输出映像存储器及其刷新——CPU 数据处理的中间结果和最终结果的存放区域。同理，CPU 不能直接驱动负载，处理的结果存放在输出映像存储器中，直至所有程序执行完毕，才将输出映像存储器的内容经输出锁存器（称为输出状态刷新）送到输出端子上驱动外部负载，即输出映像存储器随时刷新。输出锁存器每周期刷新一次，刷新后的输出状态一直保持到下一次刷新。

同样，两次刷新的间隔仅几十毫秒，即使考虑电路的电气惯性（延迟）时间，仍可认为输出是及时的。

3）I/O 状态表——状态 RAM 表。I/O 映像存储器的内容在 CPU 中构成 I/O 状态表，其内容是 CPU 处理用户程序及数据的依据。注意，输入状态表在采样时刷新，输出状态表随时刷新（中间值和最终结果），输出端子的接通或开断由输出锁存器决定。

2. 执行用户程序

执行用户程序包括执行用户程序和系统监视。正常情况下，执行完用户程序所需的时间不应超过看门狗定时器（WDT），即监控定时器 T1。执行程序前，复位 T1，程序执行开始时 T1 计时，完毕后立即复位 T1，表示程序执行正常。异常情况下，因某些原因，程序进入死循环，执行程序时间超出 T1 值，WDT 发出警告，程序重新开始执行，同时复位 T1。若为偶然因素，则重新执行程序将正常，否则系统自动停止执行用户程序，切断外部负载，并发出故障信号等待处理。

3. 执行外设命令

每次执行完用户程序输出后，就进入服务外设命令的操作。如没有外设命令，则自动循环扫描。

PLC 的工作过程和扫描处理过程如图 2-31 和图 2-32 所示。

PLC 在工作过程中，进行信息处理时遵循如下规则：

1）输入映像存储器的数据取决于各输入端子在输入刷新期间的接通或断开状态。

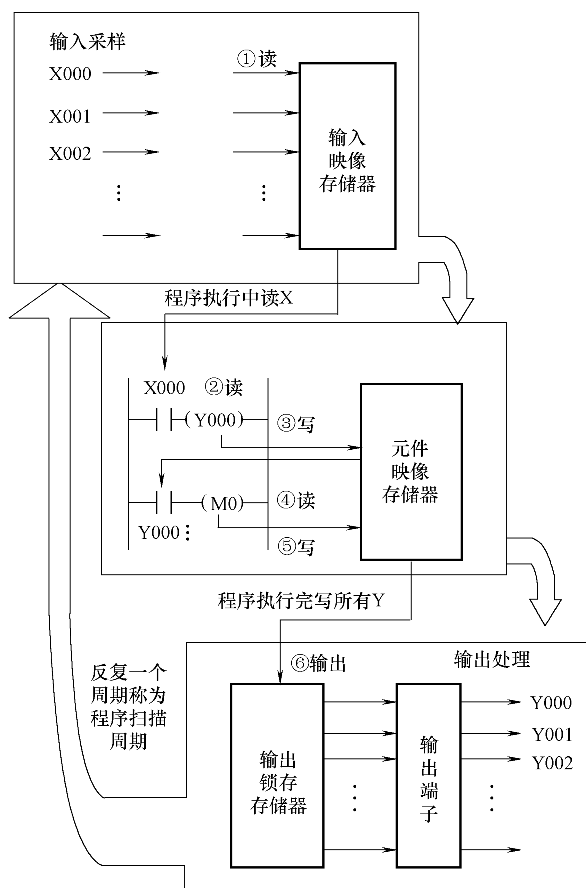


图 2-31　PLC 的工作过程

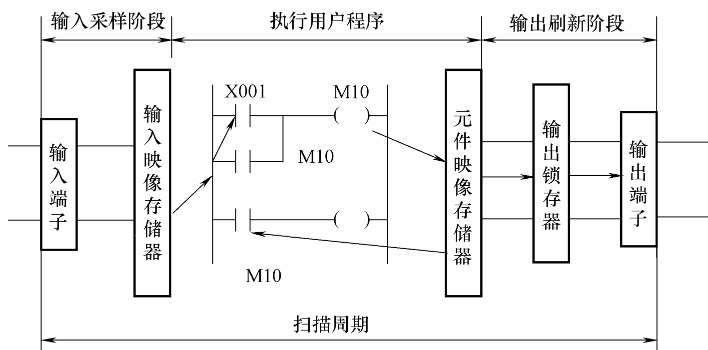


图 2-32　PLC 的扫描处理过程

2）程序如何执行取决于用户程序和输入映像存储器（输入状态表）、内部元件存储器的内容。在程序执行中，输入映像存储器内容不会改变，但元件存储器和输出映像存储器内容却随程序执行进程不断刷新。

3）输出映像存储器（输出状态表）内容取决于所有输出指令的执行结果。

4）输出锁存器内容决定于上一次输出刷新期间输出映像存储器的内容。

5）所有输出端子状态均由输出锁存器决定。

2.5　PLC 的编程语言

2.5.1　编程语言的特点

PLC 逻辑控制功能的实现是通过编程语言来实现的。随着 PLC 的发展，其编程软件呈现多样化和高级化发展趋势。PLC 的编程语言与一般计算机语言相比具有明显的特点，它既不同于高级语言，也不同于一般的汇编语言；它既要满足易于编写的要求，又要满足易于调试的要求。由于 PLC 类型较多，各个不同机型对应的编程软件也有一定的差别，特别是各个生产厂家的 PLC 之间，所以它们的编程软件不能通用，但是同一生产厂家生产的 PLC 一般都可以使用。目前，还没有一种对各厂家产品都能兼容的编程语言，如三菱公司的产品有它自己的编程语言，欧姆龙公司的产品也有它自己的语言。但不管什么型号的 PLC，其编程语言都具有以下特点：

1）图形式指令结构：程序由图形方式表达，指令由不同的图形符号组成，易于理解和记忆。系统的软件开发者已把工业控制中所需的独立运算功能编制成象征性图形，用户根据自己的需要把这些图形进行组合，并填入适当的参数。在逻辑运算部分，几乎所有的厂家都采用类似于继电器控制电路的梯形图，很容易接受。如西门子公司还采用控制系统流程图来表示，它沿用二进制逻辑器件图形符号来表达控制关系，直观易懂。较复杂的算术运算、定时计数等，一般也参照梯形图或逻辑器件图给予表示，虽然象征性不如逻辑运算，但也受用户欢迎。

2）明确的变量常数：图形符号相当于操作码，规定了运算功能，操作数由用户填入，如 K400、T120 等。PLC 中的变量和常数以及其取值范围有明确规定，由产品型号决定，可查阅产品目录手册。

3）简化的程序结构：PLC 的程序结构通常很简单，典型的为块式结构。不同块完成不同的功能，使程序的调试者对整个程序的控制功能和控制顺序有清晰的概念。

4）简化应用软件生成过程：使用汇编语言和高级语言编写程序，要完成编辑、编译和链接三个过程。而使用编程语言，只需要编辑一个过程，其余由系统软件自动完成，整个编辑过程都在人机对话下进行，不要求用户有高深的软件设计能力。

5）强化调试手段：无论是汇编程序，还是高级语言程序调试，都是令编辑人员头疼的事，而 PLC 的程序调试提供了完备的条件，使用编程器，利用 PLC 和编程器上的按键、显示和内部编辑、调试、监控等，并在软件支持下，诊断和调试操作都很简单。

总之，PLC 的编程语言是面向用户的，对使用者不要求具备高深的知识、不需要长时间的专门训练。

2.5.2　编程语言的形式

编程指令：指令是 PLC 被告知要做什么，以及怎样去做的代码或符号。从本质上讲，指令只是一些二进制代码，这点 PLC 与普通的计算机是完全相同的。同时 PLC 也有编译系

统，它可以把一些文字符号或图形符号编译成机器码，所以用户看到的 PLC 指令一般不是机器码而是文字代码或图形符号。常用的助记符语句用英文文字（可用多国文字）的缩写及数字代表各相应指令。常用的图形符号即梯形图，它类似于电气原理图，是符号，易为电气工作人员所接受。

指令系统：一个 PLC 所具有的指令的全体称为该 PLC 的指令系统。它包含着指令的多少，各指令都能干什么事，代表着 PLC 的功能和性能。一般来讲，功能强、性能好的 PLC，其指令系统必然丰富，所能干的事也就多。在编程之前必须弄清 PLC 的指令系统。

程序：PLC 指令的有序集合，PLC 运行它可进行相应的工作，当然这里的程序是指 PLC 的用户程序。用户程序一般由用户设计，PLC 的厂家或代销商不提供。用语句表达的程序不大直观，可读性差，特别是较复杂的程序更难读，所以多数程序用梯形图来表达。

梯形图：梯形图是通过连线把 PLC 指令的梯形图符号连接在一起的连通图，用以表达所使用的 PLC 指令及其前后顺序，它与电气原理图很相似。它的连线有两种：一种为母线；另一种为内部横竖线。内部横竖线把一个个梯形图符号指令连成一个指令组，这个指令组一般总是从装载（LD）指令开始，必要时再继以若干个输入指令（含 LD 指令），以建立逻辑条件。最后为输出类指令，实现输出控制，或为数据控制、流程控制、通信处理、监控工作等指令，以进行相应的工作。母线是用来连接指令组的。图 2-33 所示是三菱公司的 FX_{2N}系列产品的最简单的梯形图例。

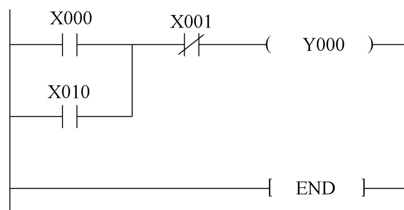


图 2-33　三菱 FX_{2N}系列 PLC 梯形图

图 2-33 有两组：第一组用以实现启动、停止控制；第二组仅一个 END 指令，用以结束程序。

PLC 存在的缺点主要是 PLC 的软、硬件体系结构是封闭的而不是开放的，绝大多数的 PLC 是专用总线、专用通信网络及协议，编程虽多为梯形图，但各公司的组态、寻址、语句结构不一致，使各种 PLC 互不兼容。国际电工委员会（IEC）在 1992 年颁布了 IEC1131-3《可编程序控制器的编程软件标准》，为各 PLC 厂家编程的标准化铺平了道路。现在开发以 PC 为基础、在 Windows 平台下，符合 IEC1131-3 国际标准的新一代开放体系结构的 PLC 正在规划中。

IEC 制订了工业控制 5 种标准编程语言（IEC1131-3），分别是：

1）梯形图（LD）：适合于逻辑控制。

2）功能块图（FBD）：适合于典型固定复杂算法控制，如 PID 调节等。

3）顺序功能图（SFC）：适合于多进程时序混合型复杂控制。

4）指令表（IL）：适合于简单文本自编专用程序。

5）结构化文本（ST）：适合于复杂自编专用程序，如特殊的模型算法等。

目前还没有一种能适合各种 PLC 的通用的编程语言，但是各种 PLC 发展过程有类似之处，PLC 的编程语言即编程工具都大体差不多。

PLC 常用的编程语言主要有三种：功能图、语句表和梯形图。梯形图编程目前依然是应用最广泛的编程语言，因为它与继电接触器控制线路非常相像，容易学习，使用方便。

1. 梯形图（Ladder Diagram）

梯形图类似于继电接触器控制线路，是一种以图形符号及图形符号在图中的相互关系表

示控制关系的编程语言，它是从继电器控制电路图演变过来的，是目前用得最多的 PLC 编程语言。梯形图将继电器控制电路图进行简化，同时加进了许多功能强大、使用灵活的指令，将微型计算机的特点结合进去，使编程更加容易，而实现的功能却大大超过了传统继电器控制电路图，是目前最普通的一种 PLC 编程语言。各厂家梯形图的符号和规则虽不尽相同，但基本上大同小异，如图 2-34 所示。

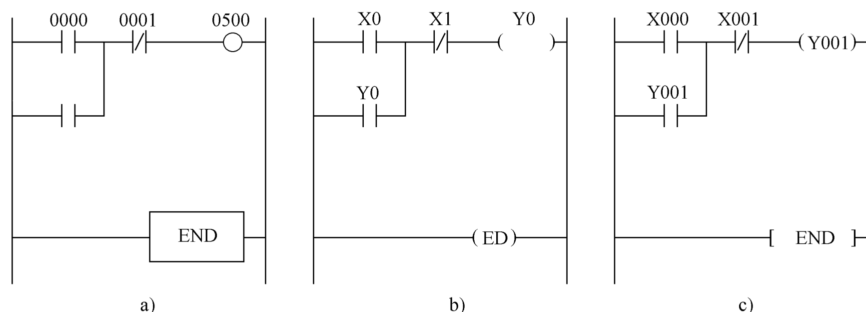


图 2-34　三种不同厂家的梯形图
a）欧姆龙公司　b）松下公司　c）三菱公司

注意：梯形图表示的并不是一个实际电路而只是一个控制程序，其间的连线表示的是它们之间的逻辑关系，即所谓的“软接线”。动合触点用“┤├”表示，也叫常开触点；动断触点用“┤/├”表示，也叫常闭触点；线圈用“-○-”或“-(　)-”表示。

梯形图中的各编程元件并非是物理实体，而是“软继电器”，每个“软继电器”仅对应 PLC 存储单元中的一位。该位状态为“1”时，对应的继电器线圈接通，其动合触点闭合、动断触点断开；状态为“0”时，对应的继电器线圈不通，其动合触点、动断触点保持原态。

梯形图具有如下绘制特点：

1）在梯形图中只有动合和动断两种触点。输入触点用以表示用户输入设备的输入信号，当输入设备的触点接通时，对应的输入继电器动作，其动合触点接通，动断触点断开；当输入设备的触点断开时，对应的输入继电器不动作，其动合触点恢复断开，动断触点恢复闭合。各种机型中动合触点和动断触点的图形符号基本相同，但它们的器件编号随不同机种、不同位置（输入或输出）而不同。统一标记的触点可以反复使用，次数不限，这点与继电器控制电路中同一触点只能使用一次不同，因为在 PLC 中每一个触点的状态均存入 PLC 内部的存储单元中，可以反复读写，故可以反复使用。

2）梯形图中输出继电器（输出变量）的表示方法也不同，有圆圈、括弧和椭圆表示，而且它们的器件编号也不同，不论哪种产品，输出继电器在程序中只能使用一次。

3）对电路各器件要分配编号。用户输入设备按输入触点的地址编号，如起动按钮 SB2 的编号为 X001。用户输出设备都按输出地址编号，如接触器 KM 的编号为 Y001。如果梯形图中还有其他内部继电器，则同样按各自分配的地址来编号。如接通 SB0，则 X000 存储单元对应的位为“1”，反之则为“0”。

4）梯形图最左边是起始母线，每一逻辑行必须从起始母线开始画。梯形图最右边还有结束母线，一般可以将其省略。梯形图必须按照从左到右、从上到下的顺序书写，PLC 按照

这个顺序执行程序。

5）梯形图中触点可以任意地串联或并联而输出继电器线圈可以并联但不可以串联。

6）程序结束后应有结束符。

7）输出继电器只对应输出映像区的相应位，不能直接驱动现场设备。

梯形图编程示意如图 2-35 所示。

如按 SB0，则 X000 存储单元为“1”，则其动合触点闭合，线圈通电，电动机转动；如按 SB1，则 X001 存储单元为“1”，则其动断触点断开，线圈断电，电动机停车。这些触点或线圈并不是真实的物理继电器触点或线圈，而是在软件编程中使用的编程器件，每个编程器件与存储器中的一个存储单元相对应，该存储单元为“1”则表示梯形图中动合触点闭合、动断触点断开，线圈通电。PLC 系统图如图 2-36 所示。

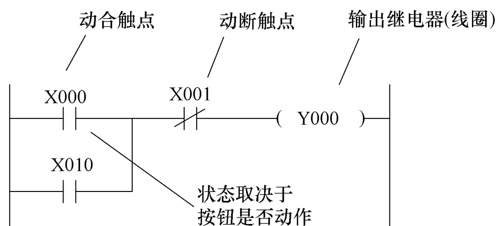


图 2-35　梯形图编程示意图

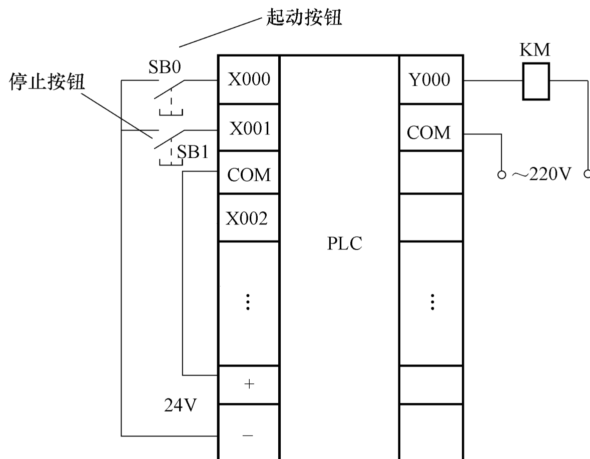


图 2-36　PLC 系统图

其内部梯形图如图 2-37 所示。

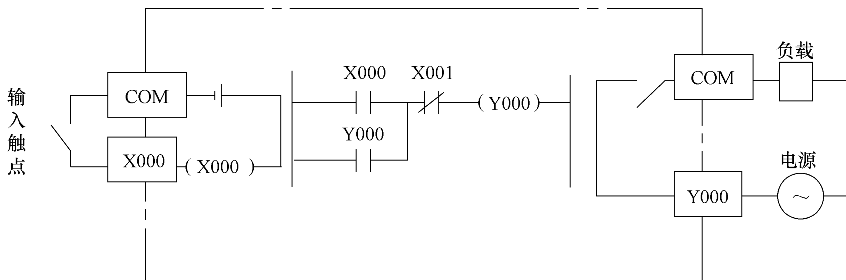


图 2-37　PLC 系统内部梯形图

梯形图是 PLC 中最常用的编程语言，学习中应注意以下概念：

1）梯形图中流过的电流不是物理电流而是概念电流，是程序执行的形象表示方式。左右垂直线称为母线，触点在水平线上串联为与逻辑关系，并联为或逻辑关系。

“能流”是 PLC 梯形图中的一个重要概念，但仅是概念上的“能流”。可以假想左母线为电源的相线，右母线为电源的零线。如果有“能流”从左至右流向线圈，则线圈被激励（ON）；如没有“能流”通过，线圈未被激励（OFF），不动作。“能流”可以通过被激励（ON）的动合触点和未被激励（OFF）的动断触点自左向右流动，“能流”任何时刻都不会自右向左流动。

2）梯形图中的继电器并不是物理继电器，每个继电器或输入触点各为存储器中的一位，相应位为“1”态，表示继电器线圈通电或动合触点闭合，或动断触点断开。

3）梯形图中的继电器触点在编写用户程序时（即作为逻辑触点）可根据需要在梯形图中反复使用，没有次数限制，既可用动合触点也可用动断触点。

4）只有 PLC 中的物理继电器才能驱动实际负载，其他继电器只能作为一种逻辑来使用，故称为“软继电器”。

图 2-38 所示是一个基本的梯形图。

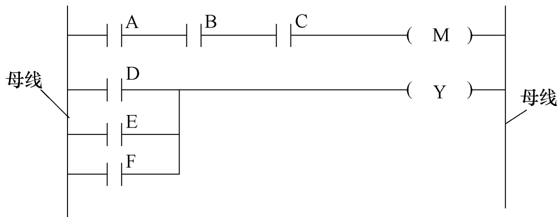


图 2-38　基本梯形图

2. 指令表（Instruction List）

指令表又叫助记符语言，类似于计算机汇编语言，它用一些简洁易记的文字符号表达 PLC 的各种指令。同一厂家的 PLC 产品，其助记符语言与梯形图语言是相互对应的，可互相转换。助记符语言常用于手持编程器中，梯形图语言则多用于计算机编程环境中。梯形图编程语言优点是直观简便，但要求用带屏幕显示的图形编程器才能输入图形符号，小型的编程器一般无法满足。将程序输入到 PLC 中需使用指令语句（助记符语言），它类似于微型计算机中的汇编语言，由语句系列构成。语句是指令语句表编程语言的基本单元，每个控制功能有一个或多个语句组成的程序来执行。每条语句规定 PLC 中 CPU 如何动作的指令，它是由操作码和操作数组成的。操作码用助记符表示要执行的功能，操作数（参数）表明操作的地址或一个预先设定的值，不同厂家的 PLC，其操作码和操作数表示不同，见表 2-3。

表 2-3　不同厂家 PLC 部分指令表

描　　述	三菱	西门子	OMROM
装载,电路开始的常开触点	LD	LD	LD
取反装载,电路开始的常闭触点	LDI	LDN	LD NOT
与,常开触点	AND	A	AND
取反与,常闭触点	ANI	AN	AND NOT
或,常开触点	OR	O	OR
取反或,常闭触点	ORI	ON	OR NOT
块与	ANB	ALD	AND LD
块或	ORB	OLD	OR LD
输出	OUT	=	OUT
取反	INV	NOT	NOT

梯形图按从左到右，从上到下的顺序编程。

梯形图与助记符的对应关系为助记符指令与梯形图指令有严格的对应关系，而梯形图的连线又可把指令的顺序予以体现。一般来讲，其顺序为先输入、后输出（含其他处理）；先上、后下；先左、后右。有了梯形图就可将其翻译成助记符程序。图 2-39 的助记符程序为

地址	指令	变量
0000	LD	X0
0001	OR	Y0
0002	ANI	X1
0003	OUT	Y0
0004	END	

反之根据助记符，也可画出与其对应的梯形图，如图 2-39 所示。

梯形图与电气原理图的关系为，如果仅考虑逻辑控制，梯形图与电气原理图也可建立起一定的对应关系。如梯形图的输出（OUT）指令，对应于继电器的线圈，而输入指令（如 LD、AND、OR）对应于触点等。这样原有的继电控制逻辑经转换即可变成梯形图，进一步转换即可变成语句表程序。

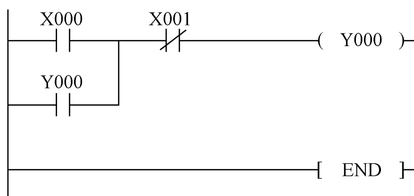


图 2-39　助记符对应的梯形图

有了这个对应关系，用 PLC 程序代表继电逻辑是很容易的，这也是 PLC 技术对传统继电控制技术的继承。

3. 顺序功能图（Sequential Chart）

顺序功能图又称为功能表图或状态转移图，是一种较新的编程方法，是各种 PLC 编程语言规范化的方向，常用来编制顺序控制类程序，它包含步、动作、转换三个要素。顺序功能编程法可将一个复杂的控制过程分解为一些小的顺序控制要求，连接组合成整体的控制程序。顺序功能图法体现了一种编程思想，在程序的编制中具有很重要的意义。在介绍步进梯形指令时将详细介绍顺序功能图编程法。图 2-40 所示为顺序功能图。

4. 功能块图（Function Block Diagram）

功能块图编程语言实际上是用逻辑功能符号组成的功能块来表达命令的图形语言，与数字电路中的逻辑图一样，它极易表现条件与结果之间的逻辑功能。图 2-41 所示为先“与”后“或”再输出操作的功能块图。

由图 2-41 可见，这种编程方法根据信息流将各种功能块加以组合，它是一种逐步发展起来的新式编程语言，正在受到各种 PLC 厂家的重视。

5. 结构文本（Structure Text）

随着 PLC 的飞速发展，如果许多高级功能还是用梯形图来表示，那会很不方便。为了增强 PLC 的数字运算、数据处理、图表显示、报表打印等功能，以方便用户的使用，许多大中型 PLC 都配备了 PASCAL、BASIC、C 等高级编程语言，这种编程方式叫做结构文本。与梯形图相比，结构文本有两大优点：其一，能实现复杂的数学运算；其二，非常简洁和紧凑。用结构文本编制极其复杂的数学运算程序只占一页纸，结构文本用来编制逻辑运算程序也很容易。

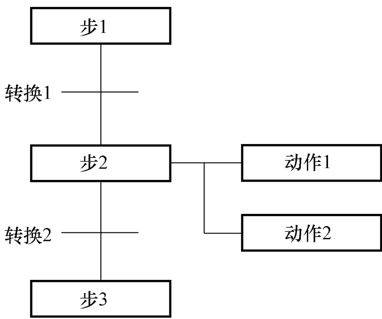


图 2-40　顺序功能图

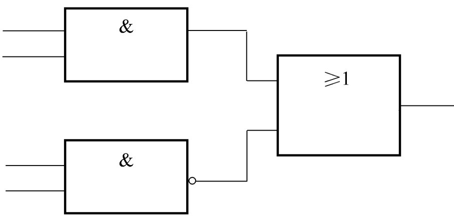


图 2-41　功能块图编程语言图

以上 5 种编程语言是由 IEC 1994 年 5 月在 PLC 标准中推荐的。对于一款具体的 PLC，生产厂家可在这 5 种表达方式中提供其中的几种编程语言供用户选择，但并不是所有的 PLC 都支持全部的 5 种编程语言的。

PLC 的编程语言是 PLC 应用软件的工具。它以 PLC 输入口、输出口、机内器件之间的逻辑及数量关系表达系统的控制要求，并存储在机内的存储器中，即所谓的“存储逻辑”。图 2-42 所示是梯形图、顺序功能图、功能块图三种编程语言的比较。

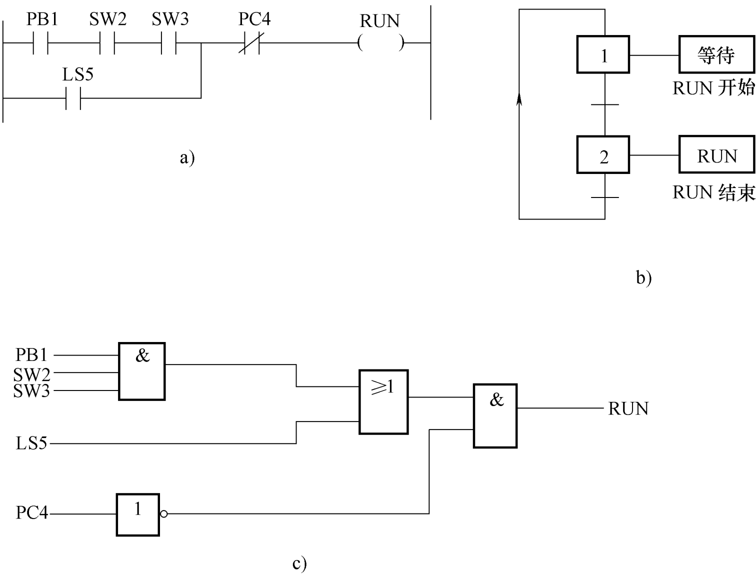


图 2-42　三种编程语言的比较

a）梯形图　b）顺序功能图　c）功能块图

为了更好地理解 PLC 的编程语言，图 2-43 给出了 PLC 控制过程解剖图。

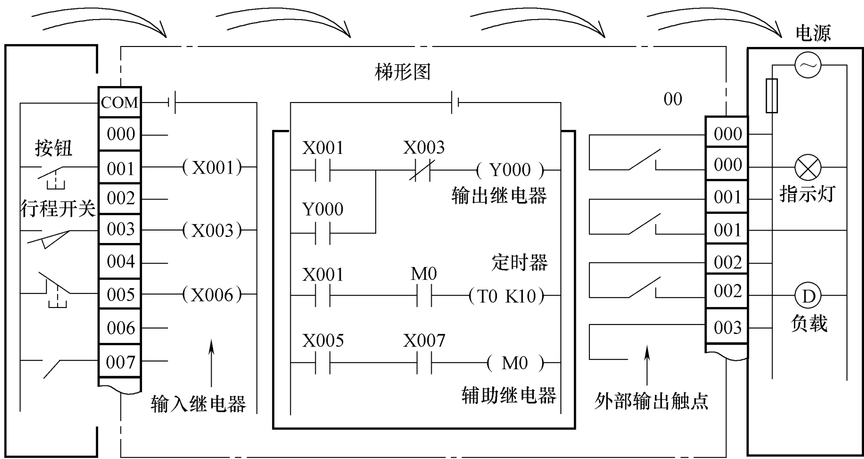


图 2-43　PLC 控制过程解剖图

2.6　PLC 的扫描周期和响应时间

2.6.1　PLC 的 I/O 响应时间

为了增强 PLC 的抗干扰能力，提高其可靠性，PLC 的每个开关量输入端都采用光电隔离等技术；为了能实现继电器控制电路的硬逻辑并行控制，PLC 采用了不同于一般微型计算机的运行方式（扫描技术）。以上两个主要原因使得 PLC 的 I/O 响应速度比一般微型计算机构成的工业控制系统慢得多，其响应时间至少等于一个扫描周期，一般均大于一个扫描周期甚至更长。

所谓 I/O 响应时间，是指从 PLC 的某一输入信号变化开始到系统有关输出端信号的改变所需的时间，其最短的 I/O 响应时间与最长的 I/O 响应时间如图 2-44 和图 2-45 所示。

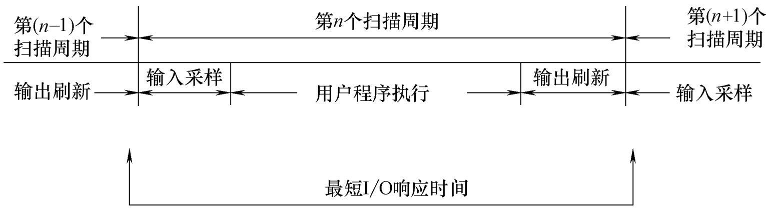


图 2-44　最短 I/O 响应时间

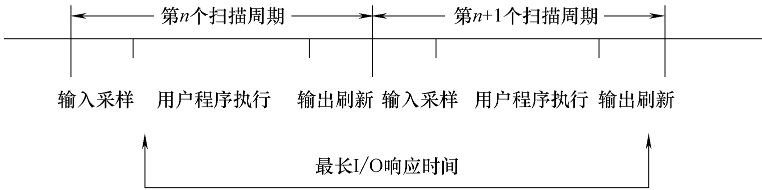


图 2-45　最长 I/O 响应时间

一般来说，PLC 的扫描周期包括自诊断、通信等，即一个扫描周期等于自诊断、通信、输入采样、用户程序执行、输出刷新等所有时间的总和，如图 2-46 所示。

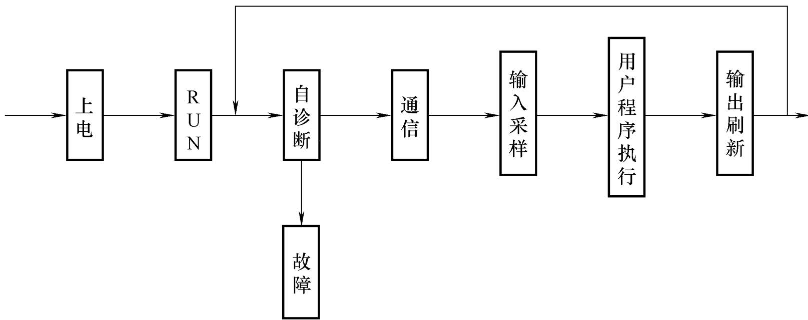


图 2-46　PLC 的扫描周期

2.6.2　PLC 串行工作方式带来的特殊性

1. I/O 响应滞后

在执行 PLC 控制时，由于输入滤波与输出软器件的驱动时间等方面的原因，会造成 I/O 响应滞后，如图 2-47 所示。

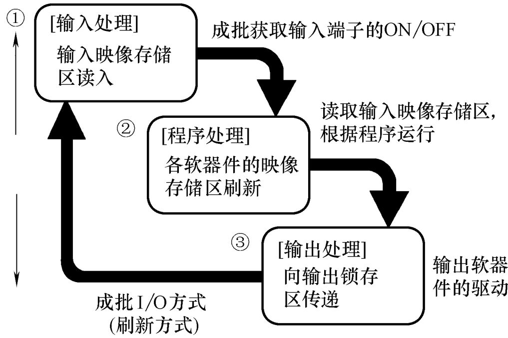


图 2-47　PLC I/O 的动作时序

PLC 输入的 ON/OFF 时间宽度应比 PLC 的循环时间长。若考虑输入滤波器的响应滞后为 10ms、循环时间为 10ms，则 ON/OFF 时间分别需要 20ms，如图 2-48 所示。

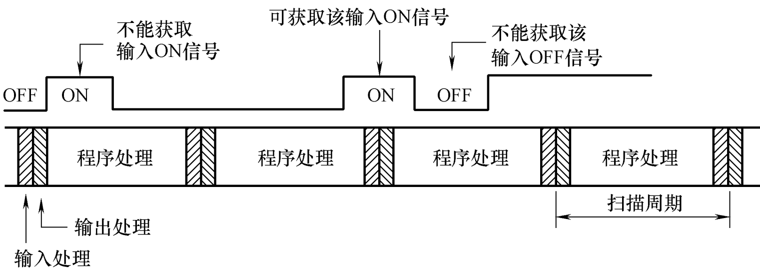


图 2-48　PLC I/O 响应

因此，不能处理 1000/(20+20) Hz=25（Hz）以上的输入脉冲。但若采用 PLC 的特殊功能与应用指令，则可改进这方面的情况。

2. 二重输出（双线圈）的动作

如图 2-49 所示，考虑在多处使用同一个线圈 Y003 的情况，例如取 X001 = ON，X002 = OFF。最初的 Y003 由于 X001 为 ON，其映像存储区为 ON，输出 Y004 也为 ON。但是，第二次的 Y003，由于输入 X002 为 OFF，因此其映像存储区被改写为 OFF。因此，实际的外部输出为 Y003 = OFF，Y004 = ON。据此可知，执行二重输出时（使用双线圈），后面的输出继电器线圈优先动作。

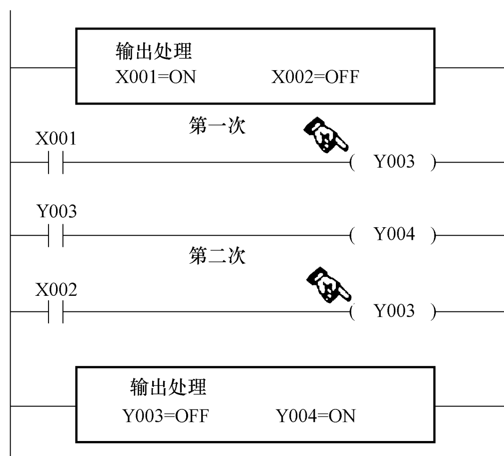


图 2-49　PLC 的二重输出

第 3 章　三菱 FX 系列 PLC

3.1　三菱 FX 系列 PLC 概述

3.1.1　三菱 FX 系列 PLC 简介

三菱 PLC 发展到今天，经历了三个阶段：

① 1980～1990 年，三菱 PLC 主要有 F \ F1 \ F2 系列小型 PLC，K/A 系列中大型 PLC；

② 1990～2000 年，三菱 PLC 主要分为 FX 系列小型 PLC，A 系列（A2S \ A2US \ Q2A）中大型 PLC；

③ 2000 以后，三菱 PLC 主要分为 FX 系列小型 PLC，Q 系列（Qn \ QnPH）中大型 PLC。

三菱电机公司 20 世纪 80 年代推出的 F 系列小型 PLC 在 20 世纪 90 年代初被 F1 系列和 F2 系列取代，F1 系列在我国曾经有很高的市场占有率。其后的 FX_2 系列在硬件和软件功能上都有很大的提高，后来推出的 FX_0、FX_{0S}、FX_{0N}和 FX_{2N}等系列实现了微型化和多品种化，可满足不同用户的需要。Fl 系列和 FX_2 系列早已属于淘汰产品，三菱 Q 系列 PLC 是三菱电机公司从原来的 A 系列 PLC 基础上发展而来的中大型 PLC 产品，三菱 Q 系列 PLC 采用了模块化的结构形式，系列产品的组成与规模灵活可变，最大输入输出点数达到 4096 点，基本指令的处理速度可以达到 34ns，最大程序存储器容量可达 252K 步，采用扩展存储器后可以达到 32M 步，其性能水平居世界领先水平，可适合各复杂机械、自动生产线的控制场合。

与过去的产品相比，三菱 FX 系列 PLC 在性能价格比上又有明显的提高。FX 系列 PLC 的适应面广，如 FX_{2N}和 FX_{2NC}最多可扩展到 256 个 I/O 点，并且有很强的网络通信功能，能够满足大多数要求较高的系统的需要，FX 系列是国内使用得最多的 PLC 系列产品之一。下面分别介绍 FX 各产品系列。

FX_{1N}系列是功能很强大的微型 PLC，可扩展到多达 128 个 I/O 点，并且能增加特殊功能模块或扩展板。通信和数据链接功能选项，使得 FX_{1N}在体积、通信和特殊功能模块等重要的应用方面非常完美，具有定位和脉冲输出功能，一个 PLC 单元能同时输出 2 点 100kHz 脉冲。PLC 配备有 7 条特殊的定位指令，包括零返回、绝对位置读出、绝对或相对驱动以及特殊脉冲输出控制等。FX_{1N}系列 PLC 如图 3-1 所示。

FX_{1S}系列 PLC 把优良的特点都融合进一个很小的控制器中。FX_{1S}适用于最小的封装，提供多达 30 个 I/O，并且能通过串行通信传输数据，所以它能用在紧凑型 PLC 不能应用的地方。具有定位和脉冲输出功能，FX_{1S}系列 PLC 单元可以同时输出 2 点 100kHz 脉冲，配备有 7 条特殊的定位指令，包括零返回、绝对位置读出、绝对或相对地址表达方式以及特殊脉冲输出控制等。FX_{1S}系列 PLC 如图 3-2 所示。

FX_{2N}系列 PLC 是 FX 系列 PLC 家族中较先进的系列。控制规模达 16～256 点，内置 8KB



图 3-1　FX_{1N}系列 PLC

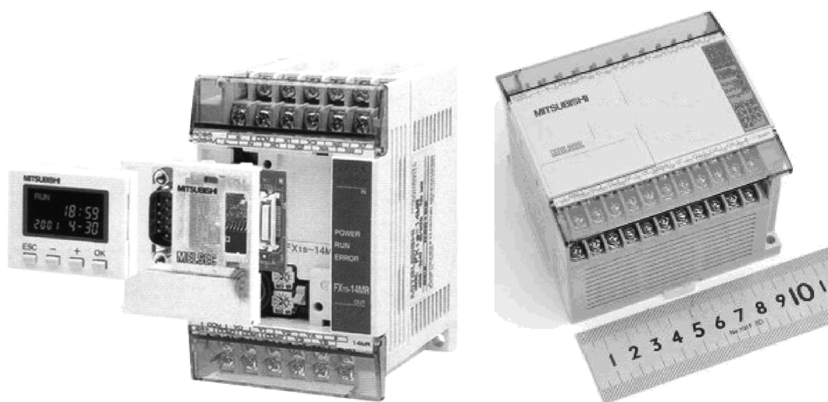


图 3-2　FX_{1S}系列 PLC

容量的 RAM 存储器，最大可以扩展到 16KB，CPU 运算处理速度为 0.08μs/基本指令。在 FX_{2N}系列 PLC 右侧可连接输入输出扩展模块和特殊功能模块，基本单元内置 2 轴独立最高 20kHz 定位功能（晶体管输出型），对每一个主单元可配置总计达 8 个特殊功能模块。FX_{2N}系列 PLC 如图 3-3 所示。

FX_{3U}系列 PLC 是三菱电机适应用户需求开发出来的第三代微型可编程控制器，它在诸多方面进行了增强。首先，FX_{3U}系列 PLC 的基本功能得到了大幅度的提升，CPU 处理速度达到了 0.065μs/基本指令；内置了高达 64K 步的大容量 RAM 存储器；通过 CC-Link 网络的扩展可以实现最多达 384 点的控制；大幅增加了内部软元件的数量。其次，FX_{3U}系列 PLC 中集成了业界领先的多项功能，晶体管输出型的基本单元内置了 3 轴独立最高 100kHz 的定位功能，并且增加了新的定位指令，从而使得定位控制功能更加强大，使用更为方便。最后，FX_{3U}系列 PLC 还专门增强了通信的功能，其内置的编程口可以达到 115.2kbit/s 的高速通信，而且最多可以同时使用 3 个通信口（包括编程口在内）；新增加了高速输入输出适配器，模拟量输入输出适配器和温度输入适配器，这些适配器不占用系统点数，使用方便。其中通过使用高速输出适配器可以实现最多 4 轴、最高 200kHz 的定位控制，通过使用高速输入适配器可以实现最高 200kHz 的高速计数。FX_{3U}系列 PLC 如图 3-4 所示。

FX_{3G}系列 PLC 是三菱电机第三代微型可编程控制器，基本单元自带两路高速通信接口

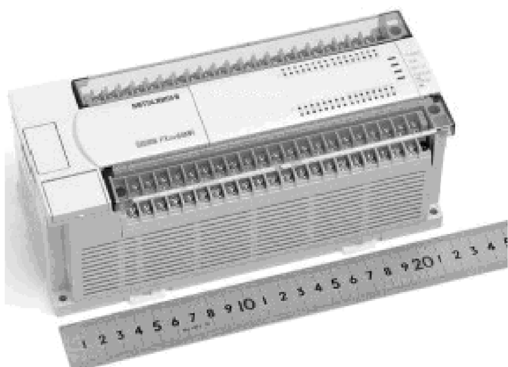




图 3-3　FX_{2N}系列 PLC　　　　图 3-4　FX_{3U}系列 PLC

(RS422&USB)，内置高达 32KB 大容量存储器，标准模式时基本指令处理速度可达 0.21μs，控制规模为 14～256 点（包括 CC-LINK 网络 I/O），定位功能设置简便（最多三轴），基本单元左侧最多可连接 4 台 FX_{3U}特殊适配器，可实现浮点数运算，可设置两级密码，每级 16 字符，增强密码保护功能。FX_{3G}系列 PLC 如图 3-5 所示。



图 3-5　三菱 FX_{3G}系列 PLC

FX 系列 PLC 具有以下特点：

1）体积小。FX_{1S}、FX_{1N}系列 PLC 高度为 90mm，深度为 75mm；FX_{3G}系列在尺寸上与FX_{1N}系列相仿，仅在深度上略有增加，深度为 86mm；14 点的 FX_{3G}系列重量只有 0.5kg，其端子排列顺序也与 FX_{1N}系列相同，可完全避免机型替换的困扰；FX_{2N}、FX_{2NC}系列的高度为 90mm，深度为 87mm；FX_{3U}系列在尺寸上与 FX_{2N}系列相近，高度为 90mm；深度为 86mm，16 点的 FX_{3U}系列重量只有 0.6kg。内置的 24V 直流电源可作为输入回路的电源和传感器的电源。

2）外形美观。基本单元、扩展单元和扩展模块的高度、深度相同，但宽度不同。它们之间用扁平电缆连接，紧密拼装后组成一个整齐的长方体。

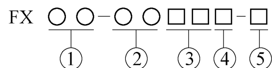
3）系统配置灵活。用户除了可选不同的子系列外，还可以选用多种基本单元、扩展单元和扩展模块，组成不同 I/O 点和不同功能的控制系统。

4）功能强，使用方便。内置高速计数器、有 I/O 刷新、中断、输入滤波时间调整、恒定扫描时间等功能，有高速计数器的专用比较指令。使用脉冲序列输出功能，可直接控制步进电动机或伺服电动机。脉冲宽度调整功能可用于温度控制或照明等的调光控制，可设置 8 位数字密码。

5）具有多个子系列。

3.1.2 FX 系列 PLC 型号名称的含义

FX 系列 PLC 型号名称的含义如下：



① 子系列名称：0N、0S、1N、1S、2N、2NC、3U、3G 等。

② I/O 点数：I/O 的合计点数（4～128 点）。

③ 单元类型：M——基本单元；
E——I/O 混合扩展单元及扩展模块；
EX——输入专用扩展模块；
EY——输出专用扩展模块。

④ 输出形式（其中输入专用无记号）：
R——继电器输出；
T——晶体管输出；
S——晶闸管输出。

⑤ 特殊品种的区别（电源和 I/O 类型等特性）：D、A1、H、V、C、F 等，如特殊品种无记号表示交流电源、直流输入、横式端子排、标准输出。继电器输出为 2A/1 点，晶体管输出为 0.5/1 点，晶闸管输出为 0.3A/1 点的标准输出。

D——直流 24V 电源，直流输出；
A1——交流电源，交流（交流 100～120V）输入或交流输出模块；
H——大电流输出扩展模块；
V——立式端子排的扩展模块；

C——接插口 I/O 方式；

F——输入滤波时间常数为 1ms 的扩展模块。

【例 3-1】 FX_{2N}-32MT-D 表示 FX_{2N}系列，32 个 I/O 点基本单元，晶体管输出，使用直流电源，24V 直流输出型。

【例 3-2】 FX_{1N}-40MRD，其参数含义为三菱 FX_{1N} PLC，有 40 个 I/O 点的基本单元，继电器输出型，使用 24V 直流电源。

【例 3-3】 FX_{2N}-64MR-D 属于 FX_{2N}系列，有 64 个 I/O 点的基本单元，继电器输出，使用 24V 直流电源。FX_{2N}-48ER-D 属于 FX_{2N}系列，有 48 个 I/O 点的扩展单元，继电器输出，使用 24V 直流电源。如图 3-6 所示。

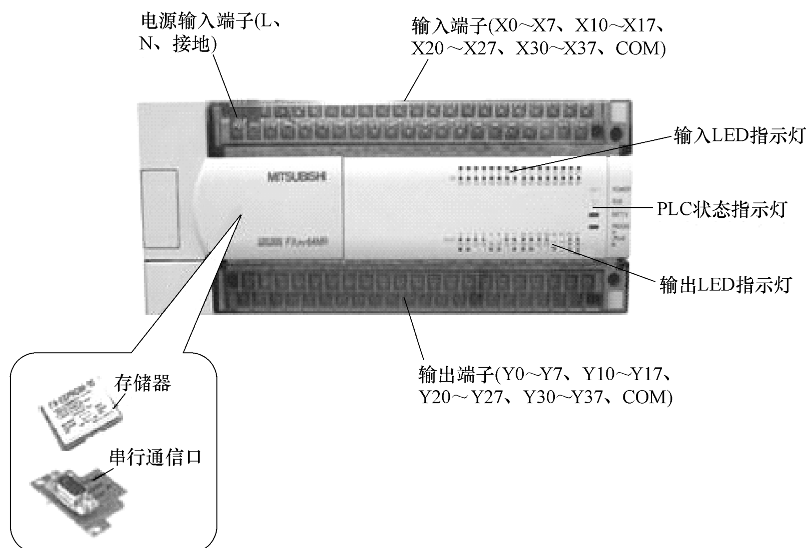


图 3-6　FX_{2N}-64MR 外部结构图

3.2　FX_{2N}系列 PLC 硬件配置

3.2.1　FX_{2N}系列 PLC 简介

FX_{2N}系列 PLC 是 FX 系列 PLC 中非常先进的超级微型 PLC。FX_{2N}系列 PLC 拥有非常高的运行速度、高级的功能逻辑选件以及定位控制等特点。FX_{2N}系列 PLC 是从 16 路到 256 路 I/O 的多种应用的选择方案，适用于在多个基本组件间的连接、模拟控制、定位控制等特殊用途，是一套可以满足多样化广泛需要的 PLC。它在基本单元上连接扩展单元或扩展模块，可进行 16 ~ 256 点的灵活 I/O 组合。可选用 16/32/48/64/80/128 点的主机，可以采用最小 8 点的扩展模块进行扩展，可根据电源及输出形式自由选择。

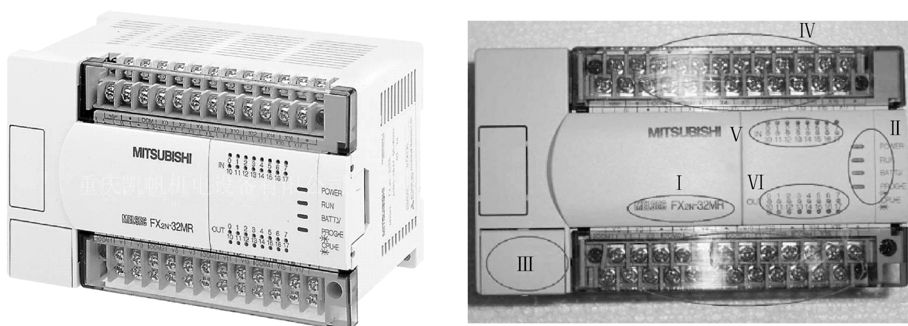
FX_{2N}系列 PLC 的控制规模为 16 ~ 256 点（基本单元：6/32/48/64/80/128 点），程序容量为内置 8K 步 RAM（可输入注释），可使用存储盒，最大可扩充至 16k 步。丰富的软器件应用指令中有多个可使用的简单指令、高速处理指令，输入过滤器常数可变，中断输入处

理，直接输出等。便利指令数字开关的数据读取、16 位数据的读取、矩阵输入的读取、7 段显示器输出等。

FX_{2N}系列 PLC 可以进行数据检索、数据排列、三角函数运算、平方根、浮点小数运算等数据处理，还具有脉冲输出（20kHz/直流 5V，10 kHz/直流 12～24V）、脉宽调制、PID 控制指令等功能，可以和外部设备相互通信，进行串行数据传送、ASCII code 印刷、HEX <-- >ASCII 变换、校验码等。

FX_{2N}系列 PLC 具有丰富的器件资源，有 3072 点辅助继电器，提供了多种特殊功能模块，可实现过程控制位置控制，有多种 RS232C/RS422/RS485 串行通信模块或功能扩展板支持网络通信。FX_{2N}系列 PLC 具有较强的数学指令集，使用 32 位 CPU 处理浮点数，具有均方根和三角几何指令，满足数学功能要求很高的数据处理。

FX_{2N}系列 PLC 外形如图 3-7 所示。



Ⅰ—型号 Ⅱ—状态指示灯 Ⅲ—模式转换开关与通信接口
Ⅳ—PLC的电源端子与输入端子 Ⅴ—输入指示灯 Ⅵ—输出指示灯

图 3-7　FX_{2N}系列 PLC（基本单元 32/128 点）

FX_{2N}系列 PLC 具有以下特点：

1）集成型和高性能：CPU、电源、输入输出三位一体。对 6 种基本单元，可以最小 8 点为单位连接 I/O 扩展设备，最大可以扩展 I/O 256 点。

2）高速运算：基本指令的执行速度为 0.08μs/指令，应用指令为 1.52～数百 μs/指令。

3）安心、宽裕的存储器规格：内置 8000 步 RAM 的存储器安装于存储盒后，最大可以扩展到 16000 步。

4）丰富的软器件范围：有辅助继电器 3072 点、定时器 256 点、计数器 235 点、数据寄存器 8000 点。

FX_{2N}系列 PLC 具体规格见表 3-1。

表 3-1　FX_{2N}系列 PLC 规格表

电源规格	交流电源型：交流 100～240V 直流电源型：直流 24V
输入规格	直流输入型：直流 24V，7mA/5mA （无电压触点，或者 NPN 集电极开路型晶体管输入） 交流输入类型：交流 100～240V（交流电压输入）
输出规格	继电器输出型：2A/1 点，8A/4 点公共端　交流 250V，直流 30V 最大 晶体管输出型：0.5A/1 点（Y000、Y001 为 0.3A/1 点），0.8A/4 点公共端直流 5～30V 晶闸管输出型：0.3A/1 点，0.8A/4 点公共端　交流 85～242V

（续）

I/O 扩展	可以连接 FX_{1N}、FX_{2N}系列用的扩展模块以及 FX_{2N}系列用的扩展单元
程序存储器	内置 8000 步 RAM(备用电池)、注释输入、可以在 RUN(运行)时写入,安装存储盒时,最大可以扩展到 16000 步
时钟功能	内置实时时钟(有时间设定指令、时间比较指令)
指令	基本指令 27 个,步进梯形图指令 2 个,应用指令 132 个
运算处理速度	基本指令:0.08μs;应用指令:1.52 ~ 数百 μs
高速处理	有 I/O 刷新指令、输入滤波器调整指令、输入中断功能、定时器中断功能、计数器中断功能、脉冲捕捉功能
最大 I/O 点数	256 点
辅助继电器/定时器	辅助继电器:3072 点 定时器:256 点
计数器	一般用 16 位增计数器:200 点 一般用 16 位增减计数器:35 点 高速用 32 位增减计数器:[1 相]60kHz/2 点,10kHz/4 点;[2 相]30kHz/1 点,5kHz/1 点
数据寄存器	一般用 8000 点,变址用 16 点,文件用最大可以在程序区域中设定为 7000 点
模拟电位器	用 FX_{2N}8AV8D 型的功能扩展板可以内置增加 8 点
功能扩展板	可以安装 FX_{2N}232(485、422 等)BD 型的功能扩展板
特殊适配器	可以用 FX_{2N}CNVBD 来连接
特殊扩展	可以连接 FX_{1N}、FX_{2N}系列用的特殊单元以及特殊模块
显示模块	可以外置 FX10DM(也可以直接连接 GOT、ET 系列显示器)
适用数据通信 适用数据链接	RS232C、RS485、RS422,简易 PC 间链接,并联连接,计算机连接,CC-Link、CC-Link/LT、MELSEC-I/O 链接,AS-i 网络
外围设备的机型选择	选择[FX_{2N}]或[FX_2],但是选择[FX_2]时有使用限制

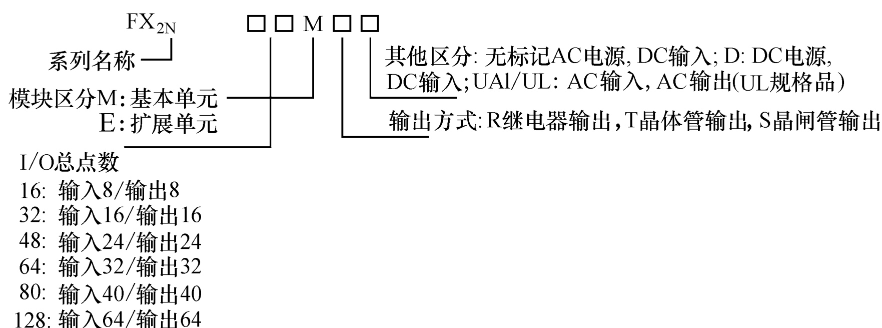
3.2.2　FX_{2N}系列 PLC 的基本单元

基本单元是构成 PLC 系统的核心部件，有 CPU、存储器、I/O 模块、通信接口和扩展接口等。

FX_{2N}系列 PLC 有 20 种基本单元，功能强、速度快，每条指令执行时间仅为 0.08μs，内置用户存储器为 8K 步，可扩展到 16K 步，I/O 点最多可扩展到 256 点。它有多种特殊功能模块或功能扩展板，可实现多轴定位控制。机内有实时时钟，PID 指令可实现模拟量闭环控制。有很强的数学指令集，如浮点数运算、开平方和三角函数等。每个 FX_{2N}基本单元可扩展 8 个特殊单元。

如三菱（MITSUBISHI）FX_{2N}-48MR PLC，它是电源 + CPU + I/O 模块 + RAM 的单元型 PLC。其主机称为基本单元，为主机备有可扩展其 I/O 点的“扩展单元（电源 + I/O 模块）”和“扩展模块（I/O 模块）”。此外，还可连接扩展设备，用于特殊控制。

FX_{2N}系列的基本单元型号体系如下：



例如 FX_{2N}-64MR-D，属于 FX_{2N}系列，有 64 个 I/O 点的基本单元，继电器输出，使用 DC 24V 电源。FX_{2N}-48ER-D，属于 FX_{2N}系列，有 48 个 I/O 点的扩展单元，继电器输出，使用 DC 24V 电源。D 和 DS 为直流 24V 电源；DSS 为直流 24V 电源，晶体管输出；ES 为交流电源；ESS 为交流电源，晶体管输出；UA1 为交流电源，交流输入。

图 3-8 所示为 FX_{2N}-64MR 型 PLC 结构示意图。

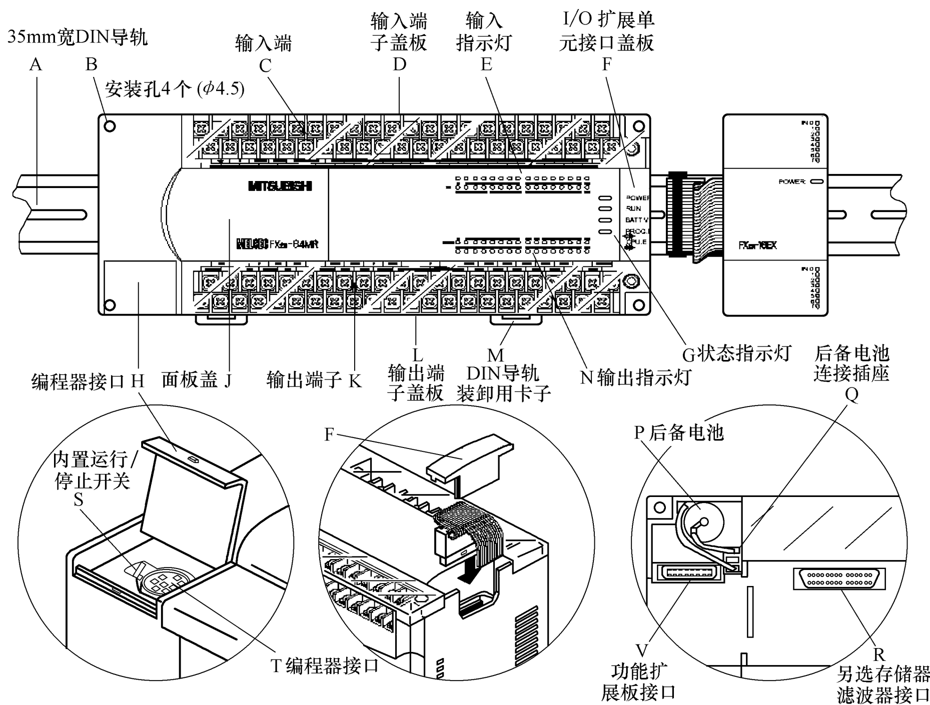


图 3-8　FX_{2N}-64MR 型 PLC 结构示意图

图 3-9 所示为 FX_{2N}-48MR 型 PLC 结构示意图。

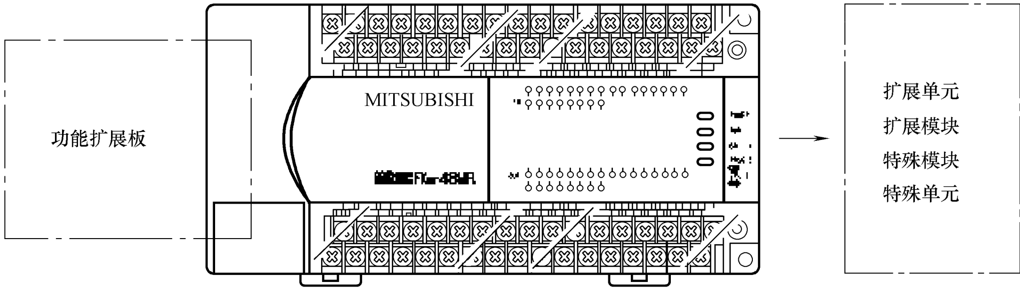


图 3-9　FX_{2N}-48MR 型 PLC 结构示意图

FX_{2N}基本单位有 16/32/48/65/80/128 点，6 个基本 FX_{2N}单元中的每一个可以通过 I/O 扩展单元扩充为 256 个 I/O 点，其基本单元见表 3-2 ~ 表 3-4。

表 3-2　FX_{2N}系列基本单元

型号			输入点数	输出点数	扩展模块可用点数
继电器输出	晶闸管输出	晶体管输出			
FX_{2N}-16MR-001	FX_{2N}-16MS	FX_{2N}-16MT	8	8 继电器	24 ~ 32
FX_{2N}-32MR-001	FX_{2N}-32MS	FX_{2N}-32MT	16	16 继电器	24 ~ 32
FX_{2N}-48MR-001	FX_{2N}-48MS	FX_{2N}-48MT	24	24 继电器	48 ~ 64
FX_{2N}-64MR-001	FX_{2N}-64MS	FX_{2N}-64MT	32	32 继电器	48 ~ 64
FX_{2N}-80MR-001	FX_{2N}-80MS	FX_{2N}-80MT	40	40 继电器	48 ~ 64
FX_{2N}-128MR-001		FX_{2N}-128MT	64	64 继电器	48 ~ 64

表 3-3　FX_{2N}系列基本单元（交流电源直流输入型）

外观	型号	合计点数	I/O 计数与 I/O 形式				尺寸 宽 × 厚 × 高 /mm
			输入		输出		
	FX_{2N}-16MR-001	16 点	8 点	直流 24V	8 点	继电器	130 × 87 × 90
	FX_{2N}-16MT-001					晶体管	
	FX_{2N}-32MR-001	32 点	16 点	直流 24V	16 点	继电器	150 × 87 × 90
	FX_{2N}-32MT-001					晶体管	
	FX_{2N}-48MR-001	48 点	24 点	直流 24V	24 点	继电器	182 × 87 × 90
	FX_{2N}-48MT-001					晶体管	

（续）

外　观	型　号	合计点数	I/O 计数与 I/O 形式				尺寸 宽×厚×高 /mm
			输入		输出		
	FX_{2N}-64MR-001	64 点	32 点	直流 24V	32 点	继电器	220×87×90
	FX_{2N}-64MT-001					晶体管	
	FX_{2N}-80MR-001	80 点	40 点	直流 24V	40 点	继电器	285×87×90
	FX_{2N}-80MT-001					晶体管	
	FX_{2N}-128MR-001	128 点	64 点	直流 24V	64 点	继电器	350×87×90
	FX_{2N}-128MT-001					晶体管	

表 3-4　FX_{2N}系列基本单元（直流电源交流输入型）

外　观	型　号	合计点数	I/O 计数与 I/O 形式				尺寸 宽×厚×高 /mm
			输入		输出		
	FX_{2N}-32MR-D	32 点	16 点	直流 24V	16 点	继电器	150×87×90
	FX_{2N}-32MT-D					晶体管	
	FX_{2N}-48MR-D	48 点	24 点	直流 24V	24 点	继电器	182×87×90
	FX_{2N}-48MT-D					晶体管	
	FX_{2N}-64MR-D	64 点	32 点	直流 24V	32 点	继电器	220×87×90
	FX_{2N}-64MT-D					晶体管	
	FX_{2N}-80MR-D	80 点	40 点	直流 24V	40 点	继电器	285×87×90
	FX_{2N}-80MT-D					晶体管	

3.2.3　FX_{2N}系列 PLC 的 I/O 扩展单元和扩展模块

FX 系列 PLC 具有较为灵活的 I/O 扩展功能，可利用扩展单元及扩展模块实现 I/O 扩展。对于FX_{2N}系列基本单元，可以最小 8 点为单位连接 I/O 扩展设备，可扩展 I/O 最大 256 点，是 FX 系列 PLC 中扩展性非常高的、可实现柔性系统构建的 PLC，如图 3-10 所示。

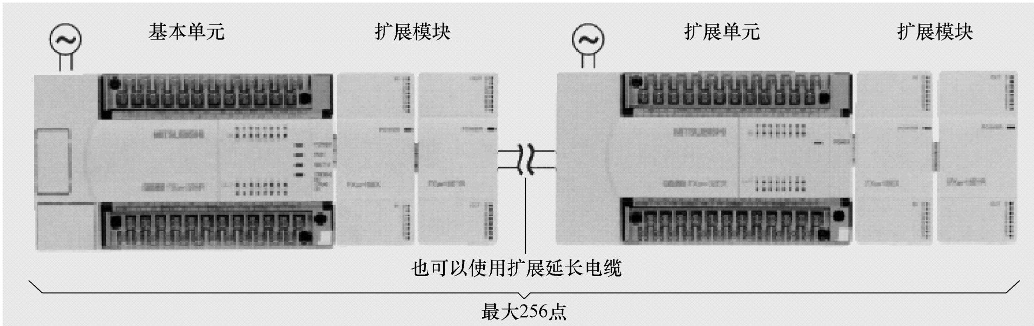
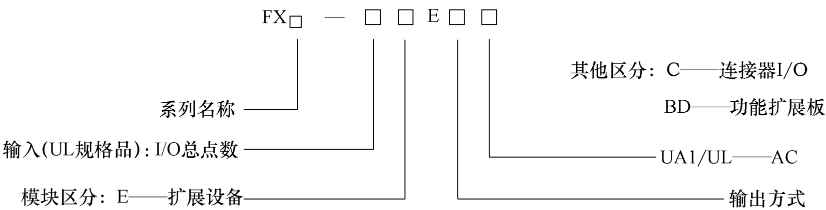


图 3-10　FX_{2N}系列 PLC 与扩展单元及扩展模块的连接

FX 系列 PLC I/O 扩展功能中，有扩展单元和扩展模块。扩展单元内置电源，同时扩展 I/O 时使用。扩展模块是以 8 点或 16 点为单位来微调基本单元和扩展单元的 I/O 的。

扩展设备型号体系如下：



1. 扩展单元

扩展单元是内置电源的 I/O 设备，与基本单元相同，也可以将各 I/O 扩展和特殊扩展设备连接到扩展单元的后面。

FX_{2N}系列的扩展单元见表 3-5、交流电源类型扩展单元见表 3-6、直流电源类型扩展单元见表 3-7。

表 3-5　FX_{2N}系列扩展单元

型　　号	总 I/O 点数	输　　入			输　　出	
		点数	电压	类型	点数	类型
FX_{2N}-32ER	32	16	直流 24V	漏型	16	继电器
FX_{2N}-32ET	32	16	直流 24V	漏型	16	晶体管
FX_{2N}-48ER	48	24	直流 24V	漏型	24	继电器
FX_{2N}-48ET	48	24	直流 24V	漏型	24	晶体管
FX_{2N}-48ER-D	48	24	直流 24V	漏型	24	继电器(直流)
FX_{2N}-48ET-D	48	24	直流 24V	漏型	24	继电器(直流)

表 3-6 交流电源类型扩展单元一览表

合计点数	外观	型号	I/O 点数与 I/O 形式				连接 PLC					尺寸 宽×厚×高/mm
			输入		输出		FX$_{1S}$	FX$_{1N}$	FX$_{2N}$	FX$_{1NC}$	FX$_{2NC}$	
32 点		FX$_{2N}$-32ER	16 点	24V	16 点	继电器	×	○	○	×	×	150×87×90
		FX$_{2N}$-32ES				晶闸管						
		FX$_{2N}$-32ET				晶体管						
40 点		FX$_{0N}$-40ER	24 点	24V	16 点	继电器	×	○	×	×	×	150×87×90
		FX$_{0N}$-40ET				晶体管						
48 点		FX$_{2N}$-48ER	24 点	24V	24 点	继电器	×	○	○	×	×	182×87×90
		FX$_{2N}$-48ET				晶体管						

注：×表示不能连接，○表示能连接。

表 3-7 直流电源类型扩展单元一览表

合计点数	外观	型号	I/O 点数与 I/O 形式				连接 PLC					尺寸 宽×厚×高/mm
			输入		输出		FX$_{1S}$	FX$_{1N}$	FX$_{2N}$	FX$_{1NC}$	FX$_{2NC}$	
40 点		FX$_{0N}$-40ER-D	24 点	直流 24V	16 点	继电器	×	○	×	×	×	150×87×90
48 点		FX$_{2N}$-48ER-D	24 点	直流 24V	24 点	继电器	×	×	○	×	×	182×87×90
		FX$_{2N}$-48ET-D				晶体管						

注：×表示不能连接，○表示能连接。

扩展单元中，带有连接在前段设备右侧用的连接电缆（长度为 55mm），要延长连接距离时，应使用选件中的扩展延长电缆。

2. 扩展模块

扩展模块是从基本单元或扩展单元接受电源供给的 I/O 扩展设备，可以 8 点或 16 点为单位连接，可以连接的点数取决于每个基本单元和扩展单元。FX$_{2N}$系列的扩展模块及 I/O 混合扩展模块见表 3-8 和表 3-9。

表 3-8 FX$_{2N}$系列的扩展模块

型号	I/O 总点数	输入			输出	
		点数	电压/V	类型	点数	类型
FX$_{2N}$-16EX	16	16	直流 24V	漏型		
FX$_{2N}$-16EYT	16				16	晶体管
FX$_{2N}$-16EYR	16				16	继电器

表 3-9　输入扩展模块与 I/O 混合扩展模块一览表

合计点数	外　观	型　号	I/O 点数与 I/O 形式				连接 PLC					尺寸 宽×厚×高 /mm
			输入		输出		FX_{1S}	FX_{1N}	FX_{2N}	FX_{1NC}	FX_{2NC}	
8 点		FX_{0N}-8ER	4 点（占用 8 点）	直流 24V	4 点（占用 8 点）	继电器	×	○	○	○（要 FX_{2NC}-16CNV-IF）	○（要 FX_{2NC}-16CNV-IF）	43×87×90
		FX_{0N}-8EX	8 点	直流 24V	—	—						43×87×90
16 点		FX_{0N}-16EX	16 点	直流 24V	—	—	×	○	○	○（要 FX_{2NC}-16CNV-IF）	○（要 FX_{2NC}-16CNV-IF）	70×87×90
		FX_{2N}-16EX	16 点	直流 24V	—	—						40×87×90
		FX_{2N}-16EX-C 连接器输入	16 点	直流 24V	—	—	×	○	○	○（要 FX_{2NC}-16CNV-IF）	○（要 FX_{2NC}-16CNV-IF）	40×87×90
		FX_{2N}-16EXL-C 连接器输入	16 点	直流 5V	—	—						40×87×90

注：×表示不能连接，○表示能连接。

此外，FX 系列 PLC 还可将一块功能扩展板安装在基本单元内，无需外部的安装空间，如 FX_{1N}-4EX-BD 就是可用来扩展 4 个输入点的扩展板。功能扩展板用于对 FX_{1S}、FX_{1N}PLC 进行小点数的 I/O 扩展，可以内置于 PLC，见表 3-10。

表 3-10　功能扩展板一览表

合计点数	外　观	型　号	I/O 点数与 I/O 形式				连接 PLC				
			输入		输出		FX_{1S}	FX_{1N}	FX_{2N}	FX_{1NC}	FX_{2NC}
4 点		FX_{1N}-4EX-BD	4 点	直流 24V	—	—	○（V2.0 以上）		×	×	×
2 点		FX_{1N}-2EYT-BD	—	—	2 点	晶体管			×	×	×

注：×表示不能连接，○表示能连接。

3.2.4 FX_{2N}系列 PLC 的特殊功能模块

1. 模拟量I/O 模块

模拟量 I/O 模块将来自各种传感器和外部设备的模拟值转换成数值并输入，或者将数值转换成模拟值并输出，如用于热电偶和热电阻 Pt100 等的温度传感器输入的模块。无法直接输入到模拟量模块的压力传感器和差动变压器等的微弱信号，可以通过转换器转换后输入。

（1）模拟量 I/O 模块 FX_{0N}-3A

该模块具有 2 路模拟量输入（直流 0～10V 或直流 4～20mA）通道和 1 路模拟量输出通道。其输入通道数字分辨率为 8 位，A/D 转换器的转换时间为 100μs，在模拟与数字信号之间采用光隔离器，适用于 FX_{0N}、FX_{1N}、FX_{2N}、FX_{2NC}子系列，占用 8 个 I/O 点。

（2）模拟量输入模块 FX_{2N}-2AD

该模块为 2 路电压输入（直流 0～10V 和直流 0～5V）或 1 路电流输入（直流 4～20mA），12 位高精度分辨率，转换的速度为 2.5ms/通道。这个模块占用 8 个 I/O 点，适用于 FX_{1N}、FX_{2N}、FX_{2NC}子系列，如图 3-11 所示。

（3）模拟量输入模块 FX_{2N}-4AD

该模块有 4 个输入通道，其分辨率为 12 位。可选择电流或电压输入，选择通过用户接线来实现。可选模拟值范围为直流 ±10V（分辨率为 5mV）或直流 4～20mA、直流 －20～20mA（分辨率为 20μA）。转换的速度最高为 6ms/通道。FX_{2N}-4AD 占用 8 个 I/O 点，如图 3-12 所示。

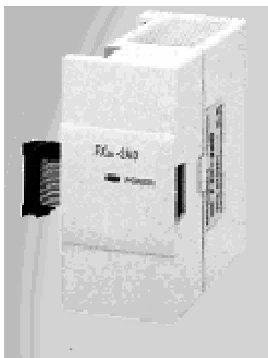


图 3-11　模拟量输入模块 FX_{2N}-2AD



图 3-12　模拟量输入模块 FX_{2N}-4AD

（4）模拟量输出模块 FX_{2N}-2DA

该模块用于将 12 位的数字量转换成 2 点模拟输出。输出的形式可为电压，也可为电流，其选择取决于接线不同。电压输出时，两个模拟输出通道输出信号为直流 0～10V 和直流 0～5V，电流输出时为直流 4～20mA，分辨率为 2.5mV（直流 0～10V）和 4μA（直流 4～20mA）。数字量到模拟量的转换特性可进行调整，转换速度为 4ms/通道。此模块需占用 8 个 I/O 点，适用于 FX_{1N}、FX_{2N}、FX_{2N}子系列，如图 3-13 所示。

（5）模拟量输出模块 FX_{2N}-4DA

该模块有 4 个输出通道，提供了 12 位高精度分辨率的数字输入，转换速度为 2.1ms/4 通道，使用的通道数变化不会改变转换速度。其他的性能与 FX_{2N}-2DA 相似，如图 3-14 所示。



图 3-13　模拟量输出模块 FX_{2N}-2DA



图 3-14　模拟量输出模块 FX_{2N}-4DA

（6）模拟量输入模块 FX_{2N}-4AD-PT

该模块与 PT100 型温度传感器匹配，将来自 4 个箔温度传感器（PT100，3 线，100Ω）的输入信号放大，并将数据转换成 12 位可读数据，存储在主机单元中。摄氏温度和华氏温度数据都可读取，内部有温度变送器和模拟量输入电路，可以矫正传感器的非线性。其分辨率为 0.2～0.3℃，转换速度为 15ms/通道。所有的数据传送和参数设置都可以通过 FX_{2N}-4AD-PT 的软件组态完成，由 FX_{2N} 的 FROM/TO 应用指令来实现。FX_{2N}-4AD-PT 占用 8 个 I/O点，可用于 FX_{1N}、FX_{2N}、FX_{2NC}子系统，为温控系统提供了方便，如图 3-15 所示。

（7）模拟量输入模块 FX_{2N}-4AD-TC

该模块与热电偶型温度传感器匹配，将来自 4 个热电偶传感器的输入信号放大，并将数据转换成 12 位的可读数据，存储在主单元中。摄氏温度和华氏温度数据均可读取，其分辨率在类型为 K 时为 0.2℃，类型为 J 时为 0.3℃。可与 K 型（－100～1200℃）和 J 型（－100～600℃）热电偶配套使用，4 个通道分别使用 K 型或 J 型热电偶温度传感器，转换速度为 240ms/通道。所有的数据传输和参数设置都可以通过 FX_{2N}-4AD-TC 的软件组态完成，占用 8 个 I/O 点，如图 3-16 所示。



图 3-15　模拟量输入模块 FX_{2N}-4AD-PT



图 3-16　模拟量输入模块 FX_{2N}-4AD-TC

（8）PID 过程控制模块

FX_{2N}-2LC 温度调节模块是用在温度控制系统中的，该模块配有 2 通道温度输入和 2 通道晶体管输出，即一块能组成两个温度调节系统。模块提供了自调节的 PID 控制和 PI 控制，

控制的运行周期为 500ms，占用 8 个 I/O 点数，可用于 FX_{1N}、FX_{2N}、FX_{2NC}子系列。

2. 定位控制模块

在机械工作运行过程中工作的速度与精度往往存在矛盾，为提高机械效率而提高速度时，停车控制上便出现了问题，所以进行定位控制是十分必要的。举一个简单的例子，电动机带动的机械由起动位置返回原位，如以最快的速度返回，由于高速停车惯性大，则在返回原位时偏差必然较大，若采用图 3-17 所示的定位控制模块便可保证定位的准确性。

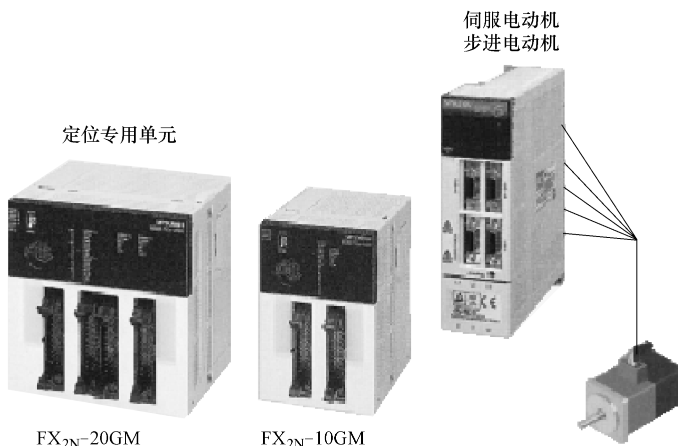


图 3-17　定位控制模块

在位置控制系统中常会采用伺服电动机和步进电动机作为驱动装置，既可采用开环控制，也可采用闭环控制。对于步进电动机，可以采用调节发送脉冲的速度改变机械的工作速度。使用 FX 系列 PLC，通过脉冲输出形式的定位单元或模块，即可实现一点或多点的定位，如图 3-18 所示。

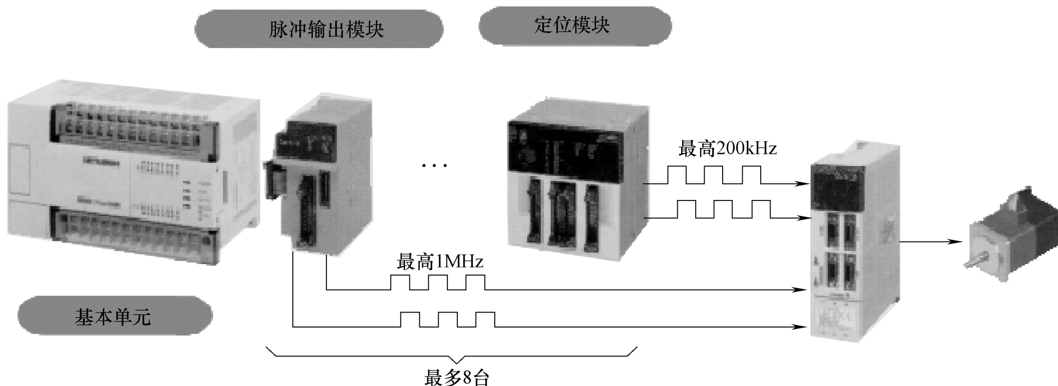


图 3-18　脉冲输出形式的定位系统

（1）脉冲输出模块 FX_{2N}-1PG

FX_{2N}-1PG 脉冲发生器单元可以完成一个对独立轴的定位，这是通过向伺服或步进电动机的驱动放大器提供指定数量的脉冲来实现的。FX_{2N}-1PG 只用于 FX_{2N} 子系列，用 FROM/TO指令设定各种参数，读出定位值和运行速度。该模块占用 8 个 I/O 点，输出最高为 100kHz 的脉冲串，如图 3-19 所示。

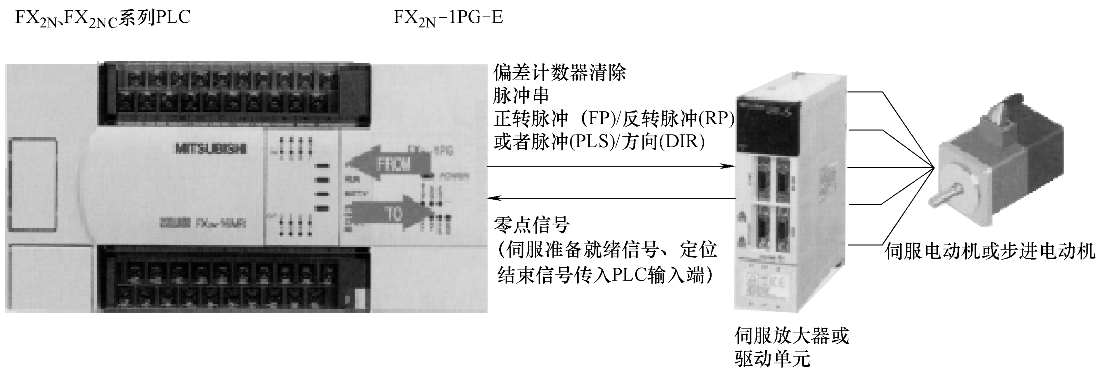


图 3-19　脉冲输出模块系统构成

（2）定位控制器 FX_{2N}-10GM

FX_{2N}-10GM 为脉冲序列输出单元，它是单轴定位单元，不仅能处理单速定位和中断定位，而且能处理复杂的控制，如多速操作。FX_{2N}-10GM 最多可有 8 个连接在 FX_{2N} 系列 PLC 上，最大输出脉冲为 200kHz，如图 3-20 所示。

（3）定位控制器 FX_{2N}-20GM

一个 FX_{2N}-20GM 可控制两个轴，可执行直线插补、圆弧插补或独立的两轴定位控制，最大输出脉冲串为 200kHz（在插补期间，最大为 100kHz）。FX_{2N}-10GM、FX_{2N}-20GM 均具有流程图的编程软件，可使程序的开发具有可视性，如图 3-21 所示。

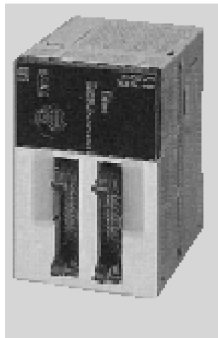


图 3-20　定位控制器 FX_{2N}-10GM

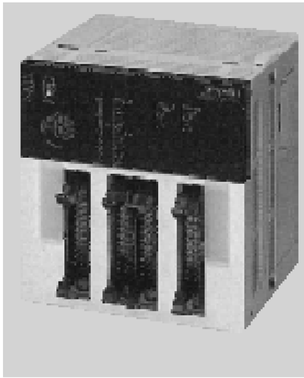


图 3-21　定位控制器 FX_{2N}-20GM

FX_{2N}-10GM/FX_{2N}-20GM 定位控制系统构成如图 3-22 所示。

（4）可编程凸轮开关 FX_{2N}-1RM-E-SET

在机械传动控制中经常要对角位置检测，在不同的角度位置时，发出不同的导通、关断信号。过去采用机械凸轮开关，机械式开关虽精度高但易磨损。FX_{2N}-1RM-SET 可编程凸轮开关可用来取代机械凸轮开关实现高精度角度位置检测，配套的转角传感器电缆长度最长可达 100m。应用时与其他可编程凸轮开关主体、无刷分解器等一起，可进行高精度的动作角度设定和监控，其内部有 EEPROM，无需电池，可储存 8 种不同的程序。FX_{2N}-1RM-SET 可接在 FX_{2N}上，也可单独使用。FX_{2N}最多可接 3 块，它在程序中占用 PLC 8 个 I/O 点。

FX_{2N}最多可以连接 8 台脉冲输出模块和定位模块，非常适合使用多轴定位控制和定位

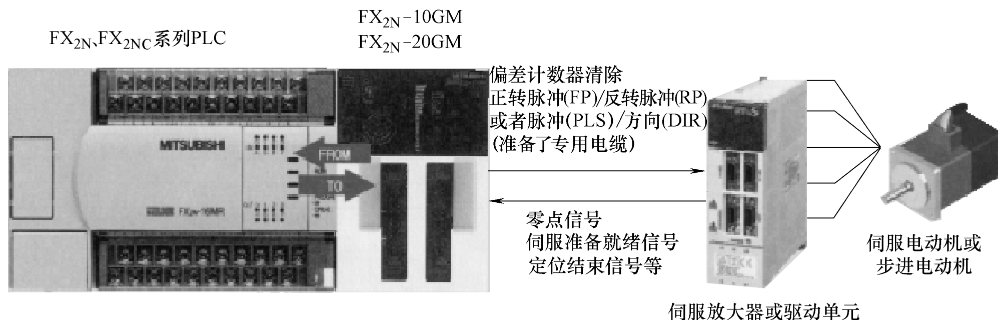


图 3-22　FX_{2N}-10GM/FX_{2N}-20GM 定位控制系统构成

专用语言的高精度控制。另外，可以充分使用模拟量和高速计数器等 FX 系列 PLC 的特殊扩展设备。

3. 数据通信模块

PLC 的通信模块是用来完成与别的 PLC、其他智能控制设备或计算机之间的通信的。下面将简单介绍 FX 系列通信用功能扩展板、适配器及通信模块。

（1）通信扩展板 FX_{2N}-232-BD

FX_{2N}-232-BD 是以 RS-232C 传输标准连接 PLC 与其他设备接口板的，诸如个人计算机、条码阅读器或打印机等，可安装在 FX_{2N} 内部。其最大传输距离为 15m，最高比特率为 19200bit/s，利用专用软件可实现对 PLC 运行状态的监控，也可方便的由个人计算机向 PLC 传送程序。

（2）通信接口模块 FX_{2N}-232IF

FX_{2N}-232IF 连接到 FX_{2N}系列 PLC 上，可实现与其他配有 RS232C 接口的设备进行全双工串行通信，如个人计算机、打印机、条码阅读器等。在 FX_{2N}系列上最多可连接 8 块 FX_{2N}-232IF 模块，用 FROM/TO 指令收发数据。其最大传输距离为 15m，最高比特率为 19200bit/s，占用 8 个 I/O 点。数据长度、串行通信比特率等都可由特殊数据寄存器设置。

（3）通信扩展板 FX_{2N}-485-BD

FX_{2N}-485-BD 用于 RS485 通信方式，它可以应用于无协议的数据传送。FX_{2N}-485-BD 在原协议通信方式时，利用 RS 指令在个人计算机、条码阅读器、打印机之间进行数据传送。传送的最大传输距离为 50m，最高比特率也为 19200bit/s。每一台 FX_{2N}系列 PLC 可安装一块 FX_{2N}-485-BD 通信板，除利用此通信板实现与计算机的通信外，还可以用它实现两台 FX_{2N}系列 PLC 之间的并联。

使用 PLC 的通信功能可简单地控制变频器的运行，如图 3-23 所示。

（4）通信扩展板 FX_{2N}-422-BD

FX_{2N}-422-BD 应用于 RS422 通信，可连接到 FX_{2N}系列 PLC 上，并作为编程或控制工具的一个端口，可用此接口在 PLC 上连接 PLC 的外部设备、数据存储单元和人机界面。利用 FX_{2N}-422-BD 可连接两个数据存储单元（DU）或一个 DU 系列单元和一个编程工具，但一次只能连接一个编程工具。每一个基本单元只能连接一个 FX_{2N}-422-BD，且不能与 FX_{2N}-485-BD 或 FX_{2N}-232-BD 一起使用。

（5）接口模块 MSLSECNET/MINI

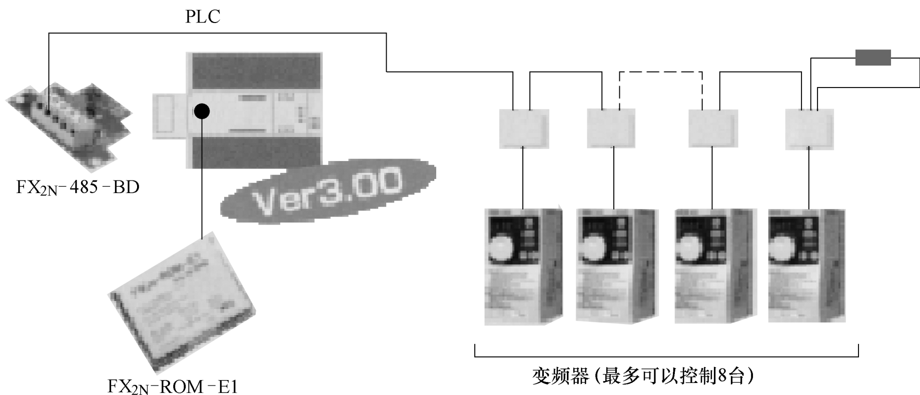


图 3-23　FX_{2N}-485-BD 用于变频器的控制

采用 MSLSECNET/MINI 接口模块，FX 系列 PLC 可用作为 A 系列 PLC 的异地控制站，构成集散控制系统。

4. 高速计数模块

PLC 中普通的计数器由于受到扫描周期的限制，其最高的工作频率不高，一般仅有几十 kHz。但在工业应用中有时会超过这个工作频率，高速计数模块就是为了满足这一要求，它可达到几十 kHz 以上，甚至到数 MHz 的脉冲计数。FX_{2N}内部设有高速计数器，系统还配有 FX_{2N}-1HC 高速计数器模块，可作为 2 相 50kHz 通道的高速计数。通过 PLC 的指令或外部输入可进行计数器的复位或起动，如图 3-24 所示，其技术指标见表 3-11。

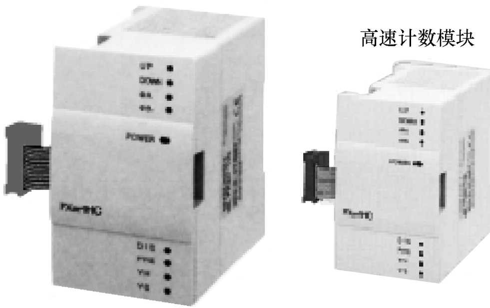


图 3-24　FX_{2N}-1HC 高速计数器模块

表 3-11　FX_{2N}-1HC 高速计数器模块技术指标

项　　目	描　　述
信号等级	5V、12V 和 24V 依赖于连接端子，线驱动器输出型连接到 5V 端子上
频率	单相单输入：不超过 50kHz 单相双输入：每个不超过 50kHz 双相双输入：不超过 50kHz（1 倍数）；不超过 25kHz（2 倍数）； 不超过 12.5kHz（4 倍数）
计数器范围	32 位二进制计数器：－2147483648～2147483647 16 位二进制计数器：0～65535
计数方式	自动时向上/向下（单相双输入或双相双输入）；当工作在单相单输入方式时，向上/向下由一个 PLC 或外部输入端子确定
比较类型	YH：直接输出，通过硬件比较器处理 YS：软件比较器处理后输出，最大延迟时间为 300ms
输出类型	NPN 开路输出，2 点，5～24V，直流每点 0.5A
辅助功能	可以通过 PLC 的参数来设置模式和比较结果 可以监测当前值、比较结果和误差状态
占用的 I/O 点数	这个块占用 8 输入或输出点（输入或输出均可）
基本单元提供的电源	5V、90mA 直流电源（主单元提供的内部电源或电源扩展单元）
适用的控制器	FX_{1N}/FX_{2N}/FX_{2NC}（需要 FX_{2NC}-CNV-IF）
尺寸（宽×厚×高）/mm	55×87×90
质量（重量）/kg	0.3

高速计数器模块具有如下特点：

1）可以进行 1 相/2 相 50kHz 硬件计数的高速输入。

2）带硬件比较电子回路的高速一致输出功能。

3）在 2 相计数中，可以设定 1、2、4 倍模式。

4）可通过 PLC 以及外部输入来控制计数的许可/复位。

5）可以和差动编码器相连接。

图 3-25 所示为基于高速计数器模块的切割控制系统。

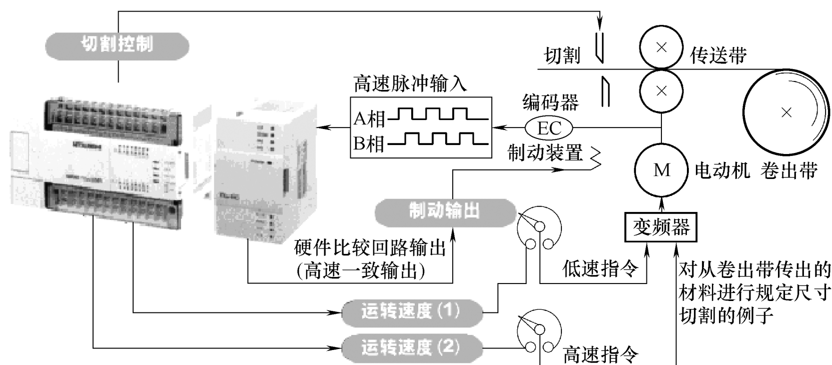


图 3-25　基于高速计数器模块的切割控制系统

3.2.5　FX 系列 PLC 的编程器及其他外部设备

1. FX 系列编程器

编程器是 PLC 的一个重要外部设备，用它将用户程序写入 PLC 用户程序存储器。它一方面对 PLC 进行编程，另一方面又能对 PLC 的工作状态进行监控。随着 PLC 技术的发展，加之编程语言的多样化，编程器的功能也在不断增加。

（1）简易编程器

FX 系列 PLC 的简易编程器也较多，最常用的是 FX-10P-E 和 FX-20P-E 手持型简易编程器。它们具有体积小、重量轻、价格便宜、功能强等优点。它们有在线编程和离线编程两种方式，显示采用液晶显示屏，分别显示 2 行和 4 行字符，配有 ROM 写入器接口、存储器卡盒接口。编程器可用指令表的形式读出、写入、插入和删除指令，进行用户程序的输入和编辑，可监视位编程器件的 ON/OFF 状态和字编程器件中的数据，如计数器、定时器的当前值及设定值、内部数据寄存器的值以及 PLC 内部的其他信息。FX-10P-E 和 FX-20P-E 手持型简易编程器如图 3-26 所示。

（2）PLC 编程开发软件

FX 系列 PLC 还有一些编程开发软件，如从早期的 FXGPWIN 到近期的 GX8.0，GX 开发器可以用于生成涵盖所有三菱 PLC 设备软件包，使用该软件可以为 FX、A 等系列 PLC 生成程序。它在 Windows 操作平台上运行，便于操作和维护，它可以用梯形图、语句表等进行编程，程序兼容性强。FX-PCS/WIN-E-C 编程软件包也是一个专门用来开发 FX 系列 PLC 程序的软件包。它可用梯形图、指令表和顺序功能图来写入和编辑程序，并能进行各种编程方式的互换。它运用于 Windows 操作系统，这对于调试操作和维护操作来说可以提高工作效率，

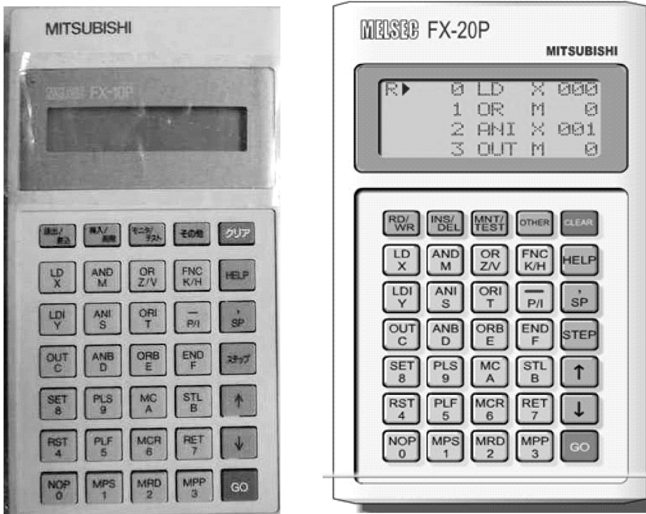


图 3-26　FX-10P-E 和 FX-20P-E 手持型简易编程器

并具有较强的兼容性，如图 3-27 所示。

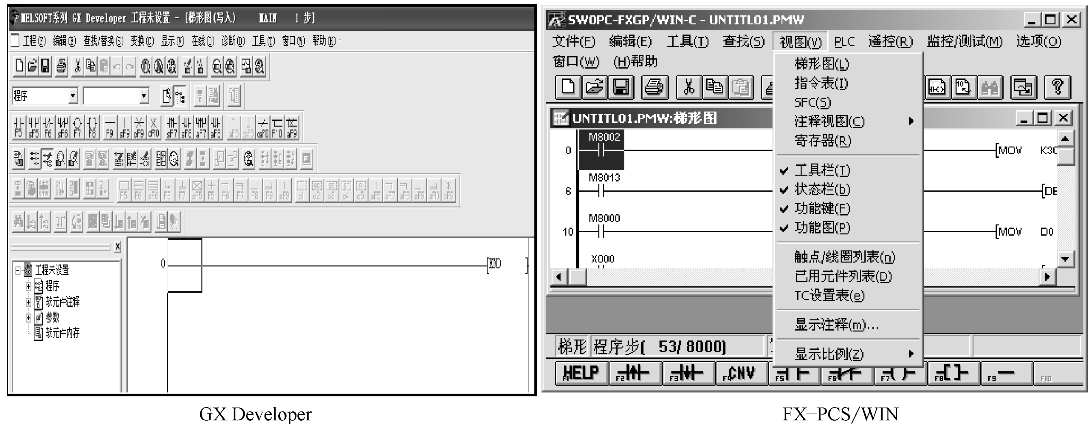


图 3-27　FX 系列 PLC 编程开发软件

2. 其他外部设备

在一个 PLC 控制系统中，人机界面也非常重要，另外还有一些辅助设备，如打印机、EPROM 写入器外部存储模块等。

FX_{2N} 系列功能扩展存储器如图 3-28 所示。

对于三菱变频器的运行控制，如果使用 FX_{2N}-ROM-E1 型功能扩展存储盒，就可以通过简单的顺控来监视变频器的运行，写入控制值或参照、变更参数，如图 3-29 所示。

3. FX 系列PLC 各单元模块的连接

FX 系列 PLC 吸取了整体式和模块式 PLC 的优点，各单元间采用叠装式连接，即 PLC 的基本单元、扩展单元和扩展模块深度及高度均相同，连接时不用基板，仅用扁平电缆连接，构成一个整齐的长方体。使用 FROM/TO 指令的特殊功能模块，如模拟量输入和输出模块、高速计数模块等，可直接连接到 FX 系列 PLC 的基本单元，或连到其他扩展单元、扩展模块

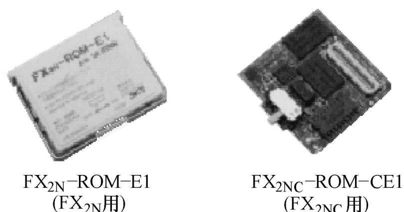


图 3-28 FX_{2N}系列功能扩展存储器图

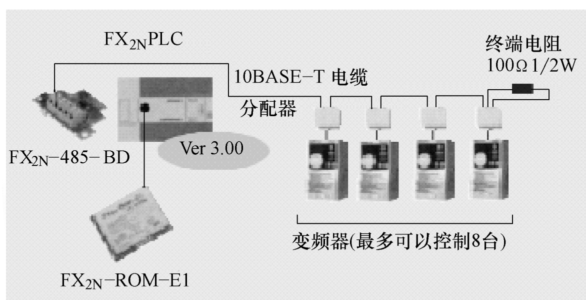


图 3-29 三菱变频器的运行控制

的右边。根据它们与基本单元的距离，对每个模块按 0 ~ 7 的顺序编号，最多可连接 8 个特殊功能模块。

对基本单元，可以以最小 8 点为单位连接 I/O 扩展设备，可扩展 I/O 最大 256 点。FX_{2N} PLC 是 FX 系列中扩展性最高的、可实现柔性系统构建的 PLC。

扩展设备的构成如图 3-30 所示。

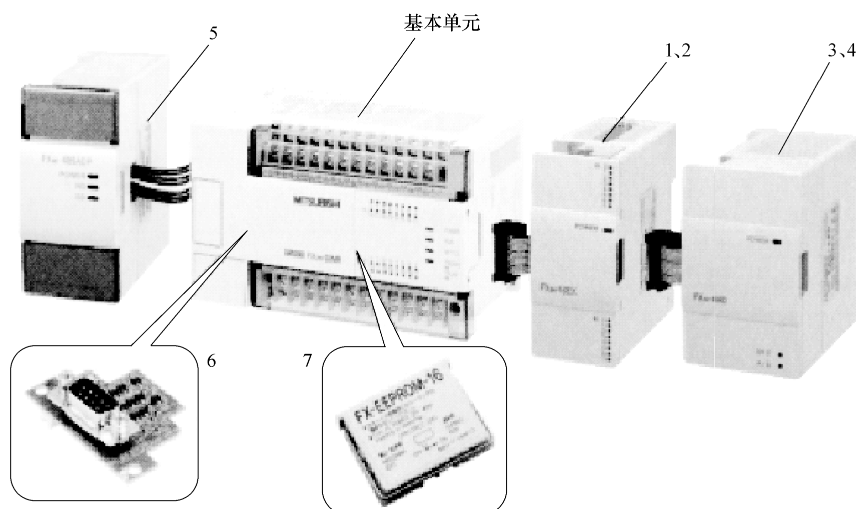


图 3-30 FX 系列扩展设备的构成

1 扩展模块——从基本/扩展单元接受电源供给的 I/O 扩展，内置连接电缆。
2 特殊单元——内置电源的用于特殊控制的扩展，附有连接电缆。
3 特殊模块——从基本/扩展单元接受电源供给的特殊控制用扩展，内置连接电缆。I/O 的最大计数为 256 点。
4 特殊适配器——从基本单元接受电源供给的用于特殊控制用扩展，内置连接电缆，不占用 I/O 点。通过使用 FX_{2N}-CNV-BD 型功能扩展板，可以连接 1 台特殊适配器。
5 功能扩展板——可以内置于 PLC 用于功能扩展的设备，不占用 I/O 点。可以内置 1 台功能扩展板。
6 显示模块——可以内置于 PLC 作设定和显示器用。可以内置 1 台 FXN-5DM 型显示模块，可以和功能扩展板合用，但是 FXN-2AD-BD、FXN-1DA-BD 不可以和功能扩展板合用，也不可以和存储盒合用。
7 存储盒（功能扩展存储器）——①EEPROM：最大 16000 步；②RAM：最大 16000 步；③EPROM：最大 16000 步；④如果安装功能扩展存储器，就可以增加变频器运行控制功能（对应 V3.00 以上）。可以内置 1 台存储盒，可以和功能扩展板合用。

注意，图 3-30 中基本单元为内置电源的 I/O 扩展，附有连接电缆。

FX_{2N}系列 PLC 的基本单元以及扩展单元内置电源，向没有电源的扩展模块、特殊模块、特殊适配器以及功能扩展板供给 DC 24V 和 DC 5V 电源，如图 3-31 所示。

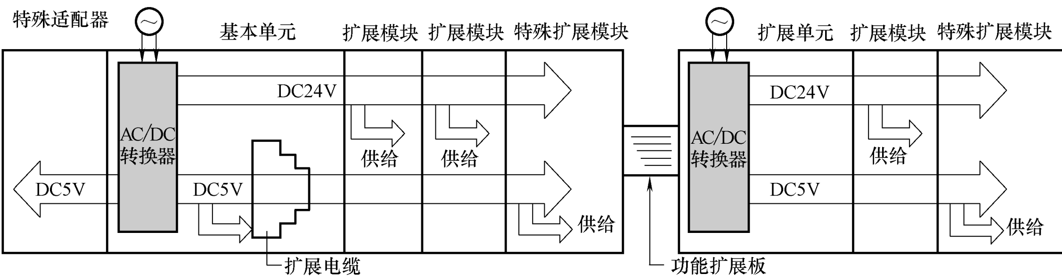


图 3-31　FX 系列 PLC 各单元模块的电源

三菱系列各单元模块见表 3-12。

表 3-12　三菱系列各单元模块一览表

种　　类	型　　号	内　　容
PLC	FX_{1N}-24MR	24 点主机,继电器输出
PLC	FX_{1N}-40MR	40 点主机,继电器输出
PLC	FX_{1N}-60MR	60 点主机,继电器输出
PLC	FX_{2N}-16 MT	16 点主机,晶体管输出
模拟量模块	FX_{0N}-3A	2 入 1 出
变频器	FR-520S-0. 4K	单相,400W
编程电缆	SC-09(232/422)	
触摸屏	F940	彩色,5. 7in①
触摸屏	F930	单色,4. 7in
触摸屏电缆	FX-232-CAB0	F930 与计算机连接电缆
触摸屏电缆	FX50-DU	F930 与 PLC 连接电缆
内置通信板	FX_{1N}-485BD(485/485)	
通信适配器	FX-485PC-IF(232/485)	
手持编程器	FX-20P-E-SET0	

① 1in = 0. 0254m。

3. 3　PLC 的技术性能指标

PLC 的性能指标包括硬件性能指标和软件性能指标：硬件性能指标包括一般指标、输入特性和输出特性；软件性能指标包括运行方式、运算速度、程序容量、逻辑器件种类和数量以及编号、指令类型和数量等。

不同厂家的 PLC 产品技术性能不同，性能指标也有所不同，一般选取常用的主要性能指标如下：

（1）I/O 点数

I/O 点数是指 PLC 组成控制系统时所能接入的 I/O 信号的最大数量，即 PLC 外部 I/O 端子数，它表示 PLC 组成控制系统时可能的最大规模。通常，在总点数中，输入点数大于输出点数，且输入点与输出点不能相互替代。

（2）扫描速度

一般以执行 1000 步指令所需的时间来衡量，单位为 ms/千步；也有以执行一步指令时

间计的，单位为 μs/步。

（3）存储器容量

PLC 的存储器包括系统程序存储器、用户程序存储器和数据存储器三部分。PLC 产品中可供用户使用的是用户程序存储器和数据存储器。PLC 中的程序指令是按“步”存放的，一“步”占用一个地址单元，一个地址单元一般占用 2B 存储容量。如 1000 步的 PLC，其存储容量为 2KB。

（4）编程语言

PLC 采用梯形图、指令表、顺序功能图、功能模块图和结构文本等编程语言，不同的 PLC 产品可能拥有其中一种、两种或全部的编程方式。它常用三种编程方式，即梯形图（LAD）、指令表（STL）和顺序功能图（SFC）。

（5）指令功能

PLC 的指令种类越多，其软件的功能就越强，使用这些指令完成一定的控制目标就越容易。

此外，PLC 的可扩展性、使用条件、可靠性、易操作性及经济性等性能指标也是用户在选择 PLC 时需注意的指标。

在使用 FX 系列 PLC 之前，需对其主要性能指标进行认真查阅，只有选择了符合要求的产品才能达到既可靠又经济的要求。

1. FX 系列PLC 性能比较

尽管 FX 系列 PLC 中 FX_{0S}、FX_{1S}、FX_{1N}和 FX_{2N}等在外形尺寸上相差不多，但在性能上有较大的差别，其中 FX_{2N}和 FX_{2NC}子系列在 FX 系列 PLC 中功能较强、性能较好。FX 系列 PLC 主要产品的性能比较见表 3-13。

表 3-13 FX 系列 PLC 主要产品的性能比较

型　号	I/O 点数	基本指令执行时间/μs	功能指令	模拟模块量	通信
FX_{0S}	10～30	1.6～3.6	50	无	无
FX_{0N}	24～128	1.6～3.6	55	有	较强
FX_{1N}	14～128	0.55～0.7	177	有	较强
FX_{2N}	16～256	0.08	298	有	强

2. FX 系列PLC 的环境指标

FX 系列 PLC 的环境指标见表 3-14。

表 3-14 FX 系列 PLC 的环境指标

环境温度/℃	使用温度 0～55，储存温度 -20～70
环境湿度	使用时 35%～85% RH（无凝露）
防振性能	JISC0911 标准，10～55Hz，0.5mm（最大 2G①），3 轴方向各 2 次（但用 DIN 导轨安装时为 0.5G）
抗冲击性能	JISC0912 标准，10G，3 轴方向各 3 次
抗噪声能力	用噪声模拟器产生电压为 1000V（峰-峰值）、脉宽为 1μs、频率为 30～100Hz 的噪声
绝缘耐压/V	1500（交流），1min（接地端与其他端子间）
绝缘电阻/MΩ	5 以上（DC500V 绝缘电阻表测量，接地端与其他端子间）
接地电阻	第三种接地，如接地有困难，可以不接地
使用环境	无腐蚀性气体，无尘埃

① 本表中的“G”表示振动的加速度。

3. FX 系列PLC 的输入技术指标

FX 系列 PLC 对输入技术指标见表 3-15。

表 3-15　FX 系列 PLC 的输入技术指标

项目 \ 输入端	X0 ~ X3 (FX_{0S})	X4 ~ X17 (FX_{0S}) X0 ~ X7 (FX_{0N}、FX_{1S}、FX_{1N}、FX_{2N})	X10 ~ (FX_{0N}、FX_{1S}、FX_{1N}、FX_{2N})	X0 ~ X3 (FX_{0S})	X4 ~ X17 (FX_{0S})
输入电压/V	DC 24(1 ±10%)			DC 12(1 ±10%)	
输入电流/mA	8. 5	7	5	9	10
输入阻抗/kΩ	2. 7	3. 3	4. 3	1	1. 2
输入 ON 电流/mA	4. 5 以上	4. 5 以上	3. 5 以上	4. 5 以上	4. 5 以上
输入 OFF 电流/mA	1. 5 以下	1. 5 以下	1. 5 以下	1. 5 以下	1. 5 以下
输入响应时间/ms	约为 10,其中:FX_{0S}、FX_{1N}的 X0 ~ X17 和 FX_{0N}的 X0 ~ X7 为 0 ~ 15 可变,FX_{2N}的 X0 ~ X17 为 0 ~ 60 可变				
输入信号形式	无电压触点或 NPN 型集电极开路晶体管				
电路隔离	光耦合器隔离				
输入状态显示	输入 ON 时 LED 亮				

4. FX 系列PLC 的输出技术指标

FX 系列 PLC 对输出技术指标见表 3-16。

表 3-16　FX 系列 PLC 的输出技术指标

项　目	继电器输入	晶闸管输出	晶体管输出
外部电源/V	AC 250 或 DC 30 以下	AC 85 ~240	DC 5 ~30
最大电阻负载	2A/1 点、8A/4 点、8A/8 点	0. 3A/点、0. 8A/4 点 (1A/1 点 2A/4 点)	0. 5A/1 点、0. 8A/4 点 (0. 1A/1 点、0. 4A/4 点) (1A/1 点、2A/4 点) (0. 3A/1 点、1. 6A/16 点)
最大感性负载	80W	15W/AC 100V、 30W/AC 200V	12W/DC 24V
最大灯负载	100W	30W	1. 5W/DC 24V
开路漏电流	—	1mA/AC 100V 2mA/AC 200V	0. 1mA 以下
响应时间/ms	约 10	ON:1,OFF:10	ON: <0. 2、OFF: <0. 2 大电流 OFF 为 0. 4 以下
电路隔离	继电器隔离	光电晶闸管隔离	光耦合器隔离
输出动作显示	输出 ON 时 LED 亮		

3. 4　PLC 的编程方式

FX 系列 PLC 有三种编程方式。

1. 指令表编程

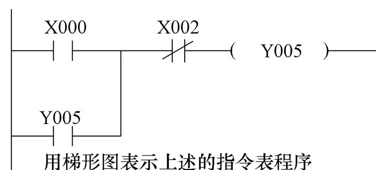
指令表编程方式是以“LD”、“AND” 和 “OUT” 等顺控指令输入的方式，这种方式是编写顺控程序的基本输入形式，但控制内容难以看懂。如

步	指令	软元件号
0	LD	X000
1	OR	Y005
2	AND	X002
3	OUT	Y005

它对应的外部设备为 FX 系列用的编程器及全部编程软件，但是不支持 A6GPP/A6PHP 型编程器用的 SFC 输入专用软件。

2. 梯形图编程

梯形图程序是采用顺控信号及软元件号在图形画面上作出顺控电路图的方法，这种方法是用触点符号与线圈符号表示顺控回路的，因而容易理解程序的内容，同时还可用回路显示的状态来监控 PLC 的动作。如



它对应的外部设备为个人计算机、A7PHP/HGP、A6GPP/PHP 及与之分别对应的编程软件。

3. SFC 编程

SFC 程序是根据机械动作的流程进行顺控设计的输入方法。在具有个人计算机与 A7PHP/HGP 等的图形画面的外部设备中，通过制作图 3-32 所示的画面可决定顺控的流程。

它对应的外部设备为个人计算机、A7PHP/HGP、A6GPP/PHP 以及与之分别对应的编程软件。

以上三种方法编制的顺控程序全部以指令表方式（指令表编程时的内容）存储在 PLC 的程序内存中，因此按照图 3-33 所示以各种输入方法编制的程序表示及编辑都可相互变换（即使是指令表程序，也可根据 SFC 转换的规则，通过 SFC 图对应的软件来表示以指令为基础的程序）。

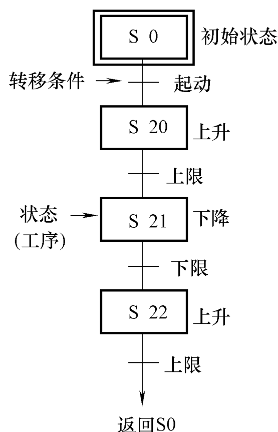


图 3-32　顺序控制的流程

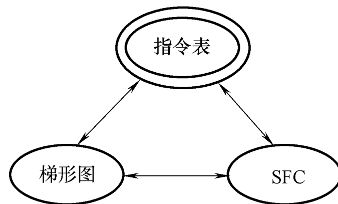


图 3-33　三种编程方法的相互变换

3.5　FX 系列 PLC 的编程元件

不同厂家、不同系列的 PLC，其内部软继电器（编程元件）的功能和编号也不相同，因此用户在编制程序时必须熟悉所选用 PLC 的每条指令涉及编程元件的功能和编号。

3.5.1　软元件及编号

FX 系列 PLC 产品，它内部的编程元件，也就是支持该机型编程语言的软元件，按通俗叫法分别称为继电器、定时器和计数器等，但它们与真实元器件有很大的差别。由于这些元器件都可以用程序（即软件）来指定，故又称为软元件或编程元件、“软继电器”。这些编程用的继电器，它的工作线圈没有工作电压等级、功耗大小和电磁惯性等问题，触点没有数量限制、没有机械磨损和电蚀等问题。在不同的指令操作下，其工作状态可以无记忆也可以有记忆，还可以作脉冲数字元件使用。一般情况下，X 代表输入继电器，Y 代表输出继电器，M 代表辅助继电器，SPM 代表专用辅助继电器，T 代表定时器，C 代表计数器，S 代表状态继电器，D 代表数据寄存器，MOV 代表传输等。各个元件有其各自的功能，有其固定的地址，元件的多少决定了 PLC 整个系统的规模及数据处理能力。

FX 系列 PLC 编程元件的编号由字母和数字组成，它们分别代表元件的类型和元件号，其中输入继电器和输出继电器用八进制数字编号，其他均采用十进制数字编号。

FX 系列 PLC 根据不同的用途和目的使用 5 种类型的数值，其作用和功能如下：

（1）十进制数（DECimal number，DEC）

包括定时器和计数器的设定值（K 常数）；辅助继电器（M）、定时器（T）、计数器（C）、状态（S）等的编号（软元件编号）；指定应用指令操作数中的数值与指令动作（K 常数）。

（2）十六位制数（HEXadecimal number，HEX）

同十进制数一样，用于指定应用指令中的操作数与指定动作（H 常数）。

（3）二进制数（BINary number，BIN）

如前所述，以十进制数或十六进制数对定时器、计数器或数据寄存器进行数值指定，但在 PLC 内部，这些数字都用二进制数处理。而在外部设备上进行监控时，这些软元件将如图 3-34 所示自动变换为十进制数（也可切换为十六进制数）。

（4）八进制数（OCTal number，OCT）

FX 系列 PLC 的输入继电器、输出继电器的软元件编号以八进制数值进行分配，因此可进行［0～7，10～17，…70～77，100～107］的进位。在八进制数中，不存在［8，9］。

（5）BCD 码（Binary Code Decimal，BCD）

BCD 码是以 4 位二进制表示十进制数各位 0～9数值的方法。各位的处理很容易，因此可用于 BCD 码输出形的数字式开关或七段码的显示器控制等方面。

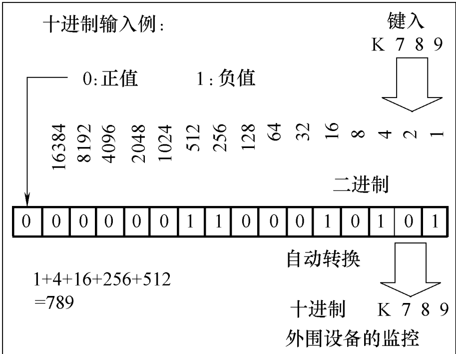


图 3-34　二进制数变换为十进制数

其他数值有：

（1）浮点数

FX_{2N}、FX_{2NC}PLC 具有高精度浮点运算功能，用二进制浮点数进行浮点运算，同时用十进制浮点值实施监视。

（2）常数 K、H

PLC 的程序进行数值处理时，必须使用常数 K（十进制数）或常数 H（十六进制数）（但是输入、输出继电器的编号使用八进制数），其作用和功能如下：常数 K 是表示十进制整数的符号，主要用于指定定时器或计数器的设定值或应用指令操作数中的数值；常数 H 是十六进制数的表示符号，主要用于指定应用指令操作数的数值。在编程用外部设备上进行指令数值的相关操作时，十进制数加 K 后输入，十六进制数加 H 后输入。例如 20 用十进制表示为 K20，用十六进制则表示为 H14。

FX 系列 PLC 中使用的数值可按表 3-17 进行转换。

表 3-17　FX 系列 PLC 数值转换表

	八进制数［OCT］	十进制数［DEC］	十六进制数［HEX］	二进制数［BIN］		BCD 码	
	0	0	00	0000	0000	0000	0000
	1	1	01	0000	0001	0000	0001
	2	2	02	0000	0010	0000	0010
	3	3	03	0000	0011	0000	0011
	4	4	04	0000	0100	0000	0100
	5	5	05	0000	0101	0000	0101
	6	6	06	0000	0110	0000	0110
	7	7	07	0000	0111	0000	0111
	10	8	08	0000	1000	0000	1000
	11	9	09	0000	1001	0000	1001
	12	10	0A	0000	1010	0001	0000
	13	11	0B	0000	1011	0001	0001
	14	12	0C	0000	1100	0001	0010
	15	13	0D	0000	1101	0001	0011
	16	14	0E	0000	1110	0001	0100
	17	15	0F	0000	1111	0001	0101
	20	16	10	0000	0000	0001	0110
	⋮	⋮	⋮				
	143	99	63	0110	0011	1001	1001
主要用途	输入、输出继电器的软元件编号	除常数以及输入、输出继电器外的内部软元件编号	常数 H 等	PLC 内部的处理		BCD 码数字式开关,7 段码的显示器	

FX 系列 PLC 中几种常用型号的编程元件及编号见表 3-18。

表 3-18　FX 系列 PLC 的编程元件及编号

编程元件种类 \ PLC 型号		FX_{0S}	FX_{1S}	FX_{0N}	FX_{1N}	FX_{2N}（FX_{2NC}）
输入继电器 X（按八进制编号）		X0 ~ X17（不可扩展）	X0 ~ X17（不可扩展）	X0 ~ X43（可扩展）	X0 ~ X43（可扩展）	X0 ~ X77（可扩展）
输出继电器 Y（按八进制编号）		Y0 ~ Y15（不可扩展）	Y0 ~ Y15（不可扩展）	Y0 ~ Y27（可扩展）	Y0 ~ Y27（可扩展）	Y0 ~ Y77（可扩展）
辅助继电器 M	普通用	M0 ~ M495	M0 ~ M383	M0 ~ M383	M0 ~ M383	M0 ~ M499
	保持用	M496 ~ M511	M384 ~ M511	M384 ~ M511	M384 ~ M1535	M500 ~ M3071
	特殊用	M8000 ~ M8255（具体见使用手册）				
状态寄存器 S	初始状态用	S0 ~ S9	S0 ~ S9	S0 ~ S9	S0 ~ S9	S0 ~ S9
	返回原点用	—	—	—	—	S10 ~ S19
	普通用	S10 ~ S63	S10 ~ S127	S10 ~ S127	S10 ~ S999	S20 ~ S499
	保持用	—	S0 ~ S127	S0 ~ S127	S0 ~ S999	S500 ~ S899
	信号报警用	—	—	—	—	S900 ~ S999
定时器 T	100ms	T0 ~ T49	T0 ~ T62	T0 ~ T62	T0 ~ T199	T0 ~ T199
	10ms	T24 ~ T49	T32 ~ T62	T32 ~ T62	T200 ~ T245	T200 ~ T245
	1ms	—		T63	—	—
	1ms 累积	—	T63	—	T246 ~ T249	T246 ~ T249
	100ms 累积	—	—	—	T250 ~ T255	T250 ~ T255
计数器 C	16 位增计数（普通）	C0 ~ C13	C0 ~ C15	C0 ~ C15	C0 ~ C15	C0 ~ C99
	16 位增计数（保持）	C14、C15	C16 ~ C31	C16 ~ C31	C16 ~ C199	C100 ~ C199
	32 位可逆计数（普通）	—	—	—	C200 ~ C219	C200 ~ C219
	32 位可逆计数（保持）	—	—	—	C220 ~ C234	C220 ~ C234
	高速计数器	C235 ~ C255（具体见使用手册）				
数据寄存器 D	16 位普通用	D0 ~ D29	D0 ~ D127	D0 ~ D127	D0 ~ D127	D0 ~ D199
	16 位保持用	D30、D31	D128 ~ D255	D128 ~ D255	D128 ~ D7999	D200 ~ D7999
	16 位特殊用	D8000 ~ D8069	D8000 ~ D8255	D8000 ~ D8255	D8000 ~ D8255	D8000 ~ D8195
	16 位变址用	V Z	V0 ~ V7 Z0 ~ Z7	V Z	V0 ~ V7 Z0 ~ Z7	V0 ~ V7 Z0 ~ Z7
指针 N、P、I	嵌套用	N0 ~ N7	N0 ~ N7	N0 ~ N7	N0 ~ N7	N0 ~ N7
	跳转用	P0 ~ P63	P0 ~ P63	P0 ~ P63	P0 ~ P127	P0 ~ P127
	输入中断用	I00 * ~ I30 *	I00 * ~ I50 *	I00 * ~ I30 *	I00 * ~ I50 *	I00 * ~ I50 *
	定时器中断	—	—	—	—	I6 * * ~ I8 * *
	计数器中断	—	—	—	—	I010 ~ I060
常数 K、H	16 位	K：-32768 ~ 32767　　H：0000 ~ FFFFH				
	32 位	K：-2147483648 ~ 2147483647　　H：00000000 ~ FFFFFFFF				

注：* 表示中断方式（0 为下降沿中断，1 为上升沿中断）；* * 表示定时范围，可在 10 ~ 99ms 中选取。

3.5.2 输入继电器

输入、输出继电器的编号是由基本单元固有地址号，及按照与这些地址号相连的顺序给扩展设备分配的地址号组成的。这些地址号使用 8 进制数，因此不存在诸如 8、9 这样的数值。

输入继电器（X）是 PLC 接受外部输入信号的窗口。输入继电器与输入端相连，它是专门用来接受 PLC 外部开关信号的元件。PLC 通过光电耦合器，将外部信号的状态（接通时为“1”，断开时为“0”）读入并存储在输入镜象寄存器中。输入端可以外接动合触点或动断触点，也可以接多个触点组成的串并联电路或电子传感器（如接近开关）。在梯形图中，线圈的吸合或释放只取决于 PLC 外部触点的状态。可以多次使用输入继电器的常开触点和常闭触点，且使用次数不限。输入电路的时间常数一般小于 10ms。输入继电器的元件号为八进制，X0 ~ X177，最多 128 点。输入继电器的线圈在程序中不允许出现。图 3-35 所示为输入继电器 X0 的等效电路。

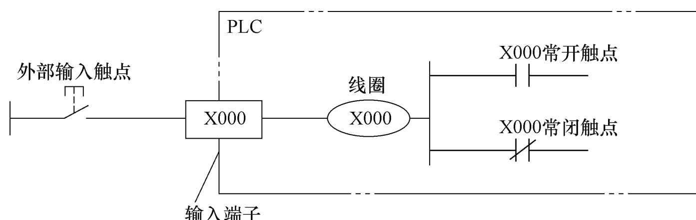


图 3-35 输入继电器 X0 的等效电路

输入继电器必须由外部信号驱动，不能用程序驱动，所以在程序中不可能出现其线圈。由于输入继电器（X）为输入映象寄存器中的状态，所以其触点的使用次数不限。

FX 系列 PLC 的输入继电器以八进制进行编号，FX_{2N} 输入继电器的编号范围为 X0 ~ X267（184 点）。注意，基本单元输入继电器的编号是固定的，扩展单元和扩展模块是按与基本单元最靠近开始，顺序进行编号。例如，基本单元 FX_{2N}-64M 的输入继电器编号为X0 ~ X37（32 点），如果接有扩展单元或扩展模块，则扩展的输入继电器从 X40 开始编号。表 3-19为 FX_{1N}、FX_{2N}系列 PLC 主机输入继电器元件编号。

表 3-19 FX_{1N}、FX_{2N}系列 PLC 主机输入继电器元件编号

PLC 型号	FX_{1N}-14M	FX_{1N}-24M	FX_{1N}-40M	FX_{1N}-60M		
输入继电器	X0 ~ X7 8 点	X0 ~ X15 14 点	X0 ~ X27 24 点	X0 ~ X43 36 点		
PLC 型号	FX_{2N}-16M	FX_{2N}-32M	FX_{2N}-48M	FX_{2N}-64M	FX_{2N}-80M	FX_{2N}-128M
输入继电器	X0 ~ X7 8 点	X0 ~ X17 16 点	X0 ~ X27 24 点	X0 ~ X37 32 点	X0 ~ X47 40 点	X0 ~ X267 184 点

输入继电器的元件号为八进制，各基本单元都是八进制输入的地址，输入为 X0 ~ X7、X10 ~ X17、X20 ~ X27，它们一般位于机器的上端。例如，FX_{2N}-32M 型 PLC 共有 16 个输入点，编号分别为 X0、X1、X2、X3、X4、X5、X6、X7，X10、X11、X12、X13、X14、X15、X16、X17。输入继电器的线圈在程序设计时不允许出现。

PLC 在每一个周期开始时读取输入信号，输入信号的通、断持续时间应大于 PLC 的扫描周期。如果不满足这一条件，可能会丢失输入信号。

3.5.3　输出继电器

输出继电器（Y）是 PLC 向外部负载发送信号的窗口，它用来将 PLC 内部信号输出传送给外部负载（用户输出设备）。输出继电器的线圈由程序控制，由 PLC 内部程序的指令驱动，输出继电器用来将 PLC 的输出信号通过输出电路硬件驱动外部负载。图 3-36 所示为输出继电器的等效电路。

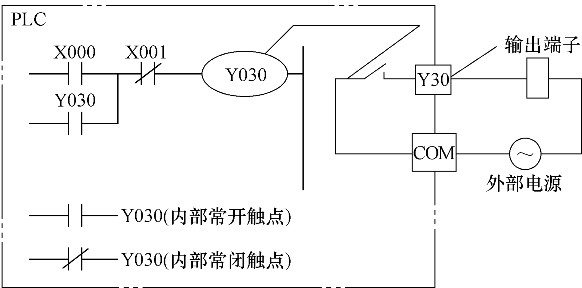


图 3-36　输出继电器的等效电路

输出继电器的线圈在程序设计时只能使用一次，不可重复使用，但触点可以多次使用。输出继电器的线圈“通电”后，继电器型输出模块中对应的硬件输出继电器的动合触点闭合，使外部负载工作。硬件输出继电器只有一个常开触点，接在 PLC 的输出端子上。FX 系列 PLC 的输出继电器也是八进制编号，其中 FX2N 编号范围为 Y0 ~ Y267（184 点）。与输入继电器一样，基本单元的输出继电器编号是固定的，扩展单元和扩展模块的编号也是按与基本单元最靠近开始，顺序进行编号，如输出为 Y0 ~ Y7、Y10 ~ Y17、Y20 ~ Y27，它们一般位于机器的下端。在实际使用中，输入、输出继电器的数量，要看具体系统的配置情况。表 3-20 为 FX_{1N}、FX_{2N}系列 PLC 主机输出继电器元件编号。

表 3-20　FX_{1N}、FX_{2N}系列 PLC 主机输出继电器元件编号

PLC 型号	FX_{1N}-14M	FX_{1N}-24M	FX_{1N}-40M	FX_{1N}-60M		
输出继电器	Y0 ~ Y5 6 点	Y0 ~ Y11 10 点	Y0 ~ Y27 16 点	Y0 ~ Y27 24 点		
PLC 型号	FX_{2N}-16M	FX_{2N}-32M	FX_{2N}-48M	FX_{2N}-64M	FX_{2N}-80M	FX_{2N}-128M
输出继电器	Y0 ~ Y7 8 点	Y0 ~ Y17 16 点	Y0 ~ Y27 24 点	Y0 ~ Y37 32 点	Y0 ~ Y47 40 点	Y0 ~ Y267 184 点

输出继电器的元件号为八进制，如 FX2N-32M 型 PLC 共有 16 个输出点，编号分别为 Y0、Y1、Y2、Y3、Y4、Y5、Y6、Y7，Y10、Y11、Y12、Y13、Y14、Y15、Y16、Y17。

在各基本单元中，按 X0 ~ X7、X10 ~ X17…、Y0 ~ Y7、Y10 ~ Y17…等，八进制数的方式分配输入、输出继电器的地址号、扩展单元和扩展模块的地址号，接在基本单元的后面，以八进制方式依次分别对 X 和 Y 连续编号。

在有些特定的输入继电器的输入滤波器中采用了数字滤波器，因此可利用程序改变滤波值。因此，在高速接收的应用中，可以分配这种输入继电器地址号。

输入、输出继电器的等效电路如图 3-37 所示。

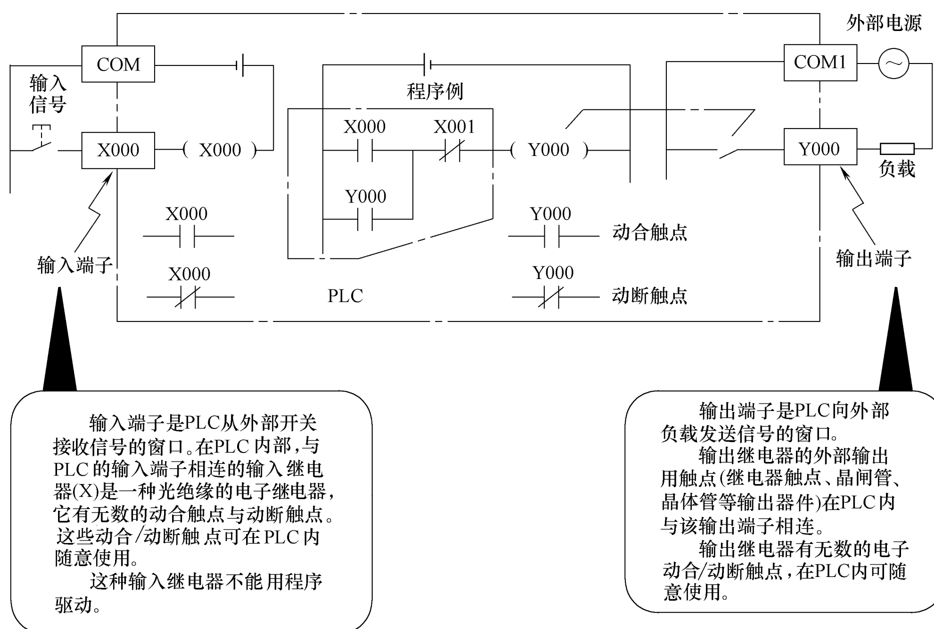


图 3-37　输入、输出继电器的等效电路

输入、输出继电器的动作时序如图 3-38 所示。

（1）输入处理

在执行程序之前，将 PLC 所有输入端子的 ON/OFF 状态读入输入映像存储区。在执行程序的过程中，即使输入变化，输入映像存储区的内容也不变，而在下一周期的输入处理时，读入该变化。注意，输入触点出现 ON-OFF、OFF-ON 的变化后，在判定 ON/OFF 之前，输入滤波器会造成响应滞后（约为 10ms）（采用数字式滤波器的输入端子输入滤波器可利用 PLC 的程序来改写数值）。

（2）程序处理

PLC 根据程序存储器的指令内容，从输入映像区或其他软元件的映像存储区中读出各软元件的 ON/OFF 状态，从 0 步开始依次进行运算，然后将结果存入映像存储区。因此，各软元件的映像存储区随着程序的执行逐步改变其内容，而且输出继电器的内部触点根据输出映像存储区的内容执行动作。

（3）输出处理

用所有指令执行结束，将输出 Y 的映像存储区的 ON/OFF 状态传输至输出锁存区，这成为了 PLC 的实际输出。PLC 内的外部输出用触点，按照输出用软元件的响应滞后时间动作。

3.5.4　辅助继电器

辅助继电器（M）是 PLC 内部具有的继电器，这种继电器有别于输入、输出继电器，它不能获取外部的输入，也不能直接驱动外部负载，只在程序中使用。PLC 内有很多的辅助继电器，辅助继电器是 PLC 中数量最多的一种继电器。它们是用软件实现的，其线圈与输出继电器一样，由 PLC 内各软元件的触点驱动。辅助继电器也称中间继电器，它没有向外的任何联系，是一种内部的状态标志，起到相当于继电器控制系统中的中间继电器的作用，

只供内部编程使用。它的电子动合/动断触点使用次数不受限制，但是这些触点不能直接驱动外部负载，外部负载的驱动必须通过输出继电器来实现。在 FX_{2N} 系列 PLC 中普遍途采用 M0～M499，共 500 点辅助继电器，辅助继电器采用 M 与十进制数共同组成编号（只有输入、输出继电器才用八进制数）。辅助继电器中还有一些特殊的辅助继电器，如掉电继电器、保持继电器等。表 3-21 为 FX_{2N}、FX_{2NC} 系列 PLC 辅助继电器编号。

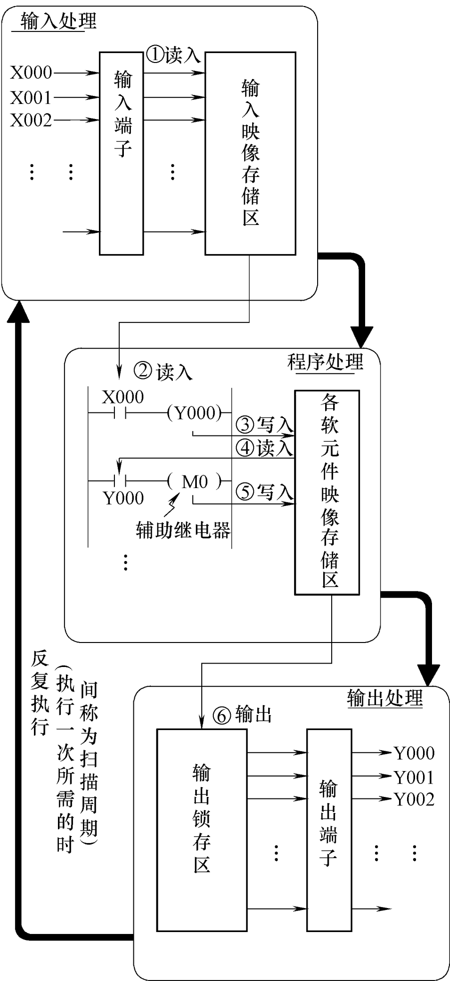


图 3-38　输入、输出继电器的动作时序

1. 通用辅助继电器

在 FX 系列 PLC 中，除了输入继电器和输出继电器的元件号采用八进制编排外，其他编程元件的元件号都采用十进制编排，因此通用辅助继电器的元件号采用十进制编排。

不同型号的 PLC 其通用辅助继电器的数量是不同的，其编号范围也不同，使用时必须参照其编程手册。FX_{2N} 型 PLC 通用辅助继电器点数为 500 点，元件号为 M0～M499。FX 系列 PLC 的通用辅助继电器与输出继电器一样没有断电保持功能，通用辅助继电器在 PLC 运行时如果电源突然断电，则全部线圈均 OFF。当电源再次接通时，除了因外部输入信号而变为 ON 状态的线圈以外，其余的仍将保持 OFF 状态，它们没有断电保护功能。根据需要可通过程序设定，将 M0～M499 变为断电保持辅助继电器。通用辅助继电器常在逻辑运算中作为辅助运算、状态暂存、移位等。这些通用辅助继电器只能在 PLC 内部起辅助作用，在使用时除了不能驱动外部元件外，其他功能与输出继电器非常类似，如图 3-39 所示。

表 3-21　FX_{2N}、FX_{2NC} 系列 PLC 辅助继电器编号

FX_{2N}　FX_{2NC} 系列	M0～M499 500 点	M500～M1023 524 点	M1024～M3071 2048 点	N8000～M8255 256 点

FX_{2N}、FX_{2NC} 系列 PLC 内的一般用辅助继电器和停电保持用辅助继电器的分配可通过外部设备的参数设定进行调整。

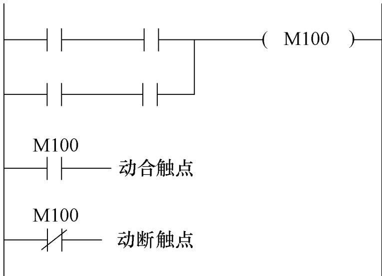


图 3-39　辅助继电器的使用

2. 断电保持辅助继电器

如果在 PLC 运行过程中停电，那么输出继电器及一般的辅助继电器都断开。再运行时，除了输入条件为“ON”的情况以外，其他都为断开状态。但是，根据控制对象的不同，也可能希望记忆停电前的状态，再运行

时再现该状态。断电保持辅助继电器（又名保持用继电器）就用于上述目的，它利用 PLC 内装的备用电池或 EEPROM 进行停电保持。在将停电保持专用继电器作为一般辅助继电器使用的场合，应在程序最前面的地方用 RST 或 ZRST 指令清除内容。断电保持辅助继电器并非断电后真正能在自身电源也切断的条件下保存原工作状态，而是靠 PLC 内部的备用电池供电而已。

FX_{2N}型 PLC 断电保持辅助继电器 M500 ~ M3071 点数共有 2572 点，元件号为 M500 ~ M3071。它与普通辅助继电器不同的是具有断电保护功能，即能记忆电源中断瞬时的状态，并在重新通电后再现其状态。它之所以能在电源断电时保持其原有的状态，是因为电源中断时用 PLC 中的锂电池保持它们映像寄存器中的内容。其中 M500 ~ M1023 可由软件将其设定为通用辅助继电器。

图 3-40 所示是具有断电保持功能的辅助继电器用法举例。图 3-40 中 X000 接通后，M600 动作，其动合触点闭合自锁，即使 X000 再断开，M600 的状态仍保持不变。若此时 PLC 失去供电，等 PLC 恢复供电后再运行时只要停电前 X001 的状态不发生改变，M600 仍能保持动作。M600 保持动作的原因并不是因为自锁，而是因为 M600 是断电保持辅助继电器，有后备电池供电。

断电保持辅助继电器用途示例如图 3-41 所示。

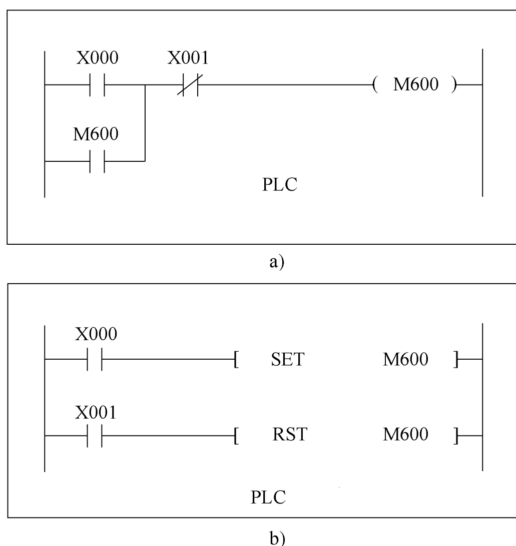


图 3-40　具有断电保持功能的辅助继电器
a）断电保持回路（自己保持方式）
b）断电保持回路（置位复位方式）

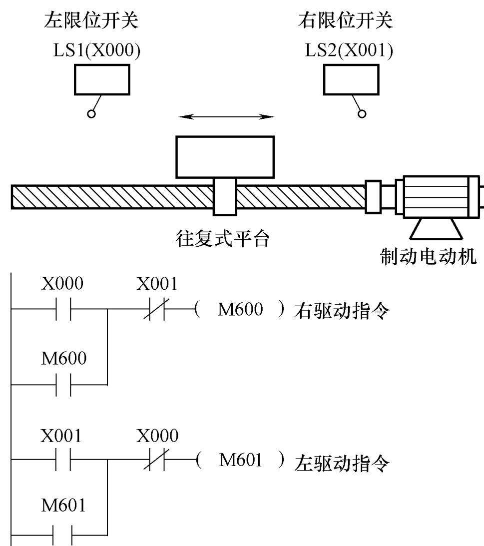


图 3-41　断电保持辅助继电器用途示例

再运行时，其前进方向与停电前的前进方向相同。X000 = ON（左限位开关）→M600 = ON→右驱动→断电→平台中途停止→再运行（M600 = ON）→X001 = ON（右限位开关）→M600 = OFF，M601 = ON→左驱动。

3. 特殊辅助继电器

PLC 内有大量的特殊辅助继电器，它们都有其各自的特殊功能。FX_{2N}系列 PLC 中有 256 个特殊辅助继电器，地址编号为 M8000 ~ M8255，这些特殊辅助继电器各自具有特定的功

能，可以分为两大类：只能利用触点型和线圈驱动型。

（1）只能利用触点型

这类特殊辅助继电器的线圈由 PLC 自动驱动，用户只可使用其触点，如：

1）M8000：运行监视器（在 PLC 运行中接通），M8001 与 M8000 逻辑相反。

2）M8002：初始脉冲（仅在运行开始时瞬间接通），M8003 与 M8002 逻辑相反。

3）M8005：PLC 后备锂电池电压过低时接通。

4）M8011、M8012、M8013 和 M8014 分别是产生 10ms、100ms、1s 和 1min 时钟脉冲的特殊辅助继电器。

M8000、M8002 和 M8012 的波形图如图 3-42 所示。

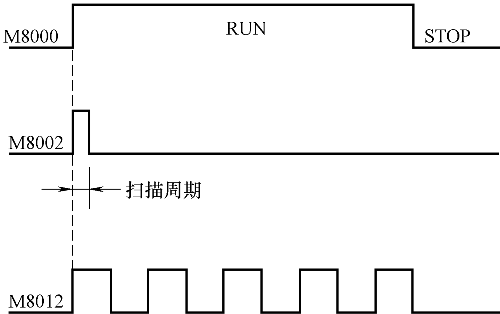


图 3-42　M8000、M8002 和 M8012 波形图

（2）线圈驱动型

这类特殊辅助继电器的线圈可由用户驱动，而线圈被驱动后 PLC 将做特定动作，如：

1）M8030：线圈被驱动后使后备锂电池欠电压指示灯熄灭。

2）M8033：线圈被驱动后 PLC 由 RUN 状态进入 STOP 状态后，映像寄存器与数据寄存器的内容不变。即若使其线圈得电，则 PLC 停止时保持输出映像存储器和数据寄存器内容。

3）M8034：线圈被驱动后禁止所有的输出。即若使其线圈得电，则将 PLC 的输出全部禁止。

4）M8039：线圈被驱动后 PLC 以 D8039 中指定的扫描时间工作。即若使其线圈得电，则 PLC 按 D8039 中指定的扫描时间工作。

应注意，没有定义的特殊辅助继电器不可在用户程序中出现。

3.5.5　状态继电器

状态继电器（S）是作为步进梯形图或 SFC 表示的工序号使用的继电器。不作为工序号使用时，与辅助继电器一样，可作为普通的触点/线圈进行编程；另外也可作为信号报警器，用于外部故障诊断。状态继电器在步进顺控程序的编程中是一类非常重要的软元件，状态继电器用来记录系统运行中的状态。状态继电器是编制顺序控制程序的重要编程元件，它与后述的步进顺控指令 STL 配合应用。

状态继电器有五种类型：初始状态继电器 S0 ~ S9，共 10 点；回零状态继电器 S10 ~ S19，共 10 点；通用状态继电器 S20 ~ S499，共 480 点；具有状态断电保持功能的状态继电器 S500 ~ S899，共 400 点；供报警用的状态继电器（可用作外部故障诊断输出）S900 ~ S999，共 100 点，见表 3-22。

表 3-22　FX_{2N}及 FX_{2NC}系列 PLC 状态继电器编号

FX_{2N}及 FX_{2NC}系列	S0 ~ S499 500 点	S0 ~ S9 （10 点）	S10 ~ S19 （10 点）	S500 ~ S899 400 点	—	—	S900 ~ S999 100 点

在使用状态器时应注意：

1）状态器与辅助继电器一样有无数的动合开和动断闭触点；

2）状态器不与步进顺控指令（STL）配合使用时，可作为辅助继电器（M）使用；

3）FX_{2N}系列 PLC 可通过程序设定将 S0 ~ S499 设置为有断电保持功能的状态器。

通用状态继电器没有断电保持功能，S0 ~ S9 供初始状态使用。断电保持状态继电器 S500 ~ S899 在断电时依靠后备锂电池供电保持，报警器 S900 ~ S999 可用作外部故障诊断输出，报警器为断电保持型。

状态器在 SFC 中的使用如图 3-43 所示。

在图 3-43 所示的工序步进控制中，如果启动信号 X000 为 ON，则状态 S20 置位（ON），下降用的电磁阀 Y000 开始动作。其结果是，若下限限位开关 X001 为 ON，则状态 S21 置位（ON），夹紧用的电磁阀 Y001 动作。

如果夹紧动作确认的限位开关 X002 为 ON，则状态 S22 置位（ON）。随着状态动作的转移，状态自动返回原状态。

一般用状态继电器在电源断开后，都变为 OFF 状态；但断电保持用状态继电器能记忆电源停电前一刻的 ON/OFF 状态，因此也能从中途工序开始运行。

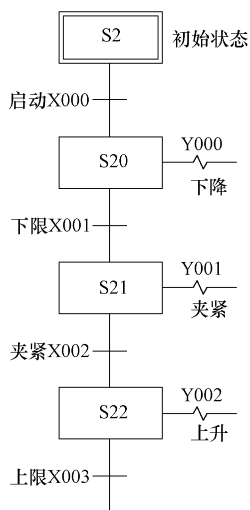


图 3-43 状态继电器在 SFC 中的使用

状态与辅助继电器一样，有无数的动合/动断触点，在顺控程序内可随意使用。此外，在不用于步进梯形图指令时，状态 S 也与辅助继电器（M）一样可在一般的顺控中使用，如图 3-44 所示。

FX_{2N}及 FX_{2NC}系列 PLC 可通过外围设备参数的设定，变更一般用状态继电器和停电用状态继电器的分配。

在作为一般用状态使用的情况下，请按图 3-45 所示，在程序的起始部分设置复位电路。

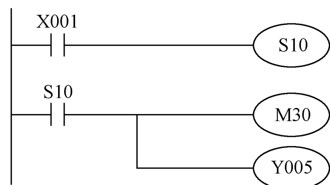


图 3-44 状态继电器在步进梯形图中的使用

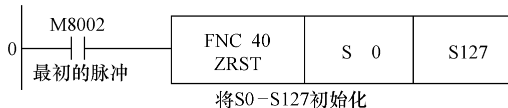


图 3-45 复位电路的设置

3.5.6 定时器

定时器（T）可对可编程控制器内 1ms、10ms、100ms 等时钟脉冲进行加法计算，当达到规定的设定值时输出触点动作。利用基于时钟脉冲的定时器，可检测到0.001 ~ 3276.7s。

PLC 内有几百个定时器，其功能相当于继电控制系统中的时间继电器。它可以提供无限对动合、动断延时触点。定时器是根据时钟脉冲的累积计时的，时钟脉冲有 1ms、10ms 和

100ms 三种，当所计时间到达设定值时其输出触点动作。定时器有一个设定值寄存器（一个字长）、一个当前值寄存器（一个字长）和一个用来存储其输出触点状态的映像寄存器（占二进制的一位），这三个单元使用同一个元件号。

定时器可以用用户程序存储器内的常数 K 作为设定值，也可以用数据寄存器（D）的内容作为设定值。在后一种情况下，一般使用有断电保护功能的数据寄存器，目的是断电时不会丢失数据。即使如此，若备用电池电压降低时，定时器或计数器往往也会发生误动作。

定时器（T）的编号见表 3-23（编号按十进制分配）。

表 3-23　FX_{2N}、FX_{2NC}系列 PLC 定时器编号

FX_{2N} FX_{2NC}系列	T0 ~ T199 200 点 子程序用 T192 ~ T199	T200 ~ T245 46 点	T246 ~ T249 4 点 执行中断用 断电保持型	T250 ~ T255 6 点 断电保持型	功能扩展板 8 点

FX_{2N}型 PLC 定时器通道范围如下：

1）100ms 定时器 T0 ~ T199，共 200 点，设定值：0.1 ~ 3276.7s；

2）10ms 定时器 T200 ~ T245，共 46 点，设定值：0.01 ~ 327.67s；

3）1ms 积算定时器 T246 ~ T249，共 4 点，设定值：0.001 ~ 32.767s；

4）100ms 积算定时器 T250 ~ T255，共 6 点，设定值：0.1 ~ 3276.7s。

定时器指令符号及应用梯形图如图 3-46 所示。

当定时器线圈 T200 的驱动输入 X000 接通时，T200 的当前值计数器对 10ms 的时钟脉冲进行累积计数，当前值与设定值 K123 相等时，定时器的输出触点动作，即输出触点是在驱动线圈后的 1.23s（10 × 123ms = 1.23s）时才动作，当 T200 触点吸合后，Y000 就有输出。当驱动输入 X000 断开或发生断电时，定时器就复位，输出触点也复位。

每个定时器只有一个输入，它与常规定时器一样，线圈通电时开始计时，断电时自动复位，不保存中间数值。定时器有两个数据寄存器：一个为设定值寄存器，另一个为现时值寄存器，编程时，由用户设定累积值。

积算定时器梯形图如图 3-47 所示。

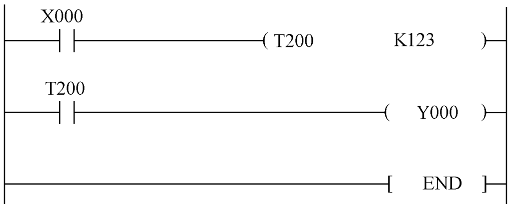


图 3-46　定时器指令符号及应用梯形图

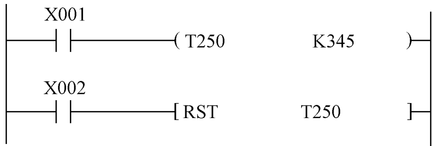


图 3-47　积算定时器梯形图

定时器线圈 T250 的驱动输入 X001 接通时，T250 的当前值计数器对 100ms 的时钟脉冲进行累积计数，当该值与设定值 K345 相等时，定时器的输出触点动作。在计数过程中，即使输入 X001 在接通或复电时计数继续进行，其累积时间为 34.5s（100ms × 345 = 34.5s）时触点动作。当复位输入 X002 接通时，定时器复位，输出触点也复位。

FX 系列 PLC 的定时器分为非积算定时器和积算定时器。

1. 非积算定时器

非积算定时器的特点是不具备断电保持功能，即当输入电路断开或断电时定时器复位。FX_{2N}型 PLC 内有 100ms 和 10ms 非积算定时器两种。

1）100ms 非积算定时器（T0 ~ T199）：FX_{2N}型 PLC 内有 100ms 非积算定时器 200 点（T0 ~ T199），时间设定值为 0. 1 ~ 3276. 7s，其中 T192 ~ T199 为子程序中断服务程序专用的定时器。这类定时器对 100ms 时钟累积计数，设定值为 1 ~ 32767，所以其定时范围为0. 1 ~ 3276. 7s。

2）10ms 非积算定时器（T200 ~ T245）：共 46 点。这类定时器对 10ms 时钟累积计数，设定值为 1 ~ 32767，所以其定时范围为 0. 01 ~ 327. 67s。

图 3-48 所示为非积算定时器在程序中的使用及动作时序。

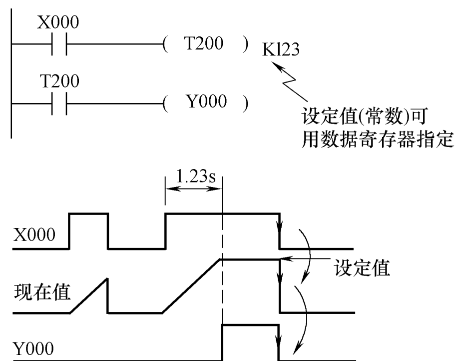


图 3-48　非积算定时器在程序中的使用及动作时序

如果定时器线圈 T200 的驱动输入 X000 为 ON 状态，T200 的当前值计数器累计 10ms 的时钟脉冲。如果该值等于设定值 K123 时，定时器的输出触点动作，也就是说输出触点在线圈驱动 1. 23s 后（也就是 T200 的线圈“通电”0. 01s × 123 = 1. 23s 后）动作，驱动输入 X000 断开或停电，定时器复位，输出触点复位。

2. 积算定时器

积算定时器具有计数累积的功能。在定时过程中如果断电或定时器线圈为 OFF 状态，积算定时器将保持当前的计数值（当前值），通电或定时器线圈 ON 后继续累积，即其当前值具有保持功能。只有将积算定时器复位，当前值才变为 0。

FX_{2N}型 PLC 内有 1ms 积算定时器 4 点（T246 ~ T249），它是对 1ms 时钟脉冲进行累积计数的，定时的时间范围为 0. 001 ~ 32. 767s；有 100ms 积算定时器 6 点（T250 ~ T255），它是以 100ms 时钟脉冲为单位的定时器，其当前值为累计值，因此即使定时器线圈的驱动输入断开，仍保持当前值，并且继续累计动作。定时的时间范围为 0. 1 ~ 3276. 7s。

图 3-49 所示为积算定时器在程序中的使用及动作时序。

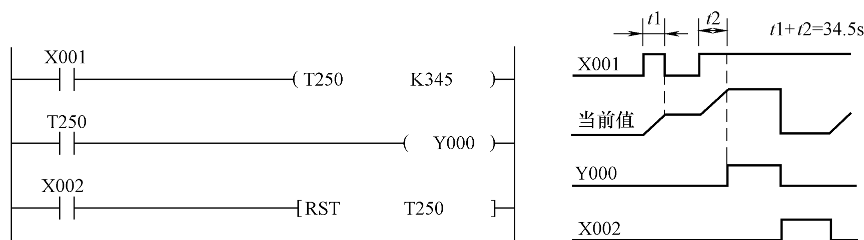


图 3-49　积算定时器在程序中的使用及动作时序

如果定时器线圈 T250 的驱动输入 X001 接通，则 T250 用的当前值计数器将 100ms 时钟

脉冲相加计算。如果相加值等于设定值 K345（即 0.1s×345=34.5s），则定时器的输出触点动作。在计算过程中，X001 断开或停电，再动作后继续进行相加计算，直到相加的时间等于设定时间后定时器的输出触点动作。积算定时器具有断电记忆功能，要想使得 T250 复位，只有复位输入 X002 接通，强制进行。

非积算定时器没有电池后备，在定时过程中，若停电或定时器线圈输入断开，则非积算定时器复位，当复电或定时器线圈输入再次接通后，非积算定时器重新计时。积算定时器有锂电池后备，若断电或定时器线圈输入断开，则积算定时器保存已计时间，当复电或定时器线圈输入再次接通后，积算定时器继续计时，计时时间为原保存的时间与继续计时时间之和。直到计时时间达到设定值后，积算定时器的触点动作。

注意，在子程序与中断程序内请采用 T192 ~ T199 和 T246 ~ T249 定时器，这些定时器在执行线圈指令或 END 指令时计时。如果计时达到设定值，则在执行线圈指令或 END 指令时输出触点动作。在子程序与中断程序内使用其他定时器，则工作可能不正常。

例如，输出延时关断定时器梯形图及时序图如图 3-50 所示。

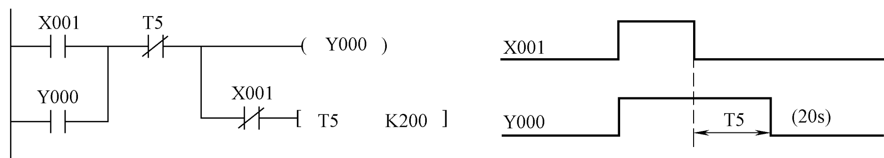


图 3-50　输出延时关断定时器梯形图及时序图

闪烁点梯形图程序及时序图如图 3-51 所示。

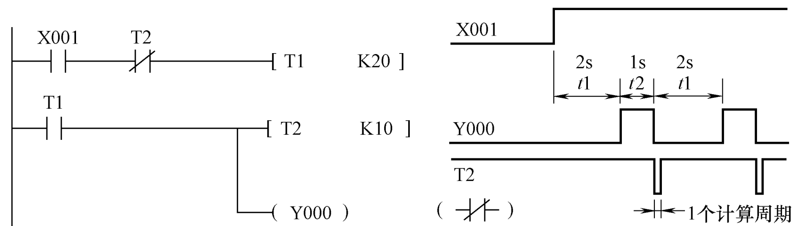


图 3-51　闪烁点梯形图程序及时序图

3.5.7　计数器

FX_{2N}系列计数器（C）以不同的用途和目的分为内部计数器和高速计数器两类。

1. 内部计数器

内部计数器在执行扫描操作时对内部信号（如 X、Y、M、S、T 等）进行计数。内部输入信号的接通和断开时间应比 PLC 的扫描周期稍长。FX_{2N}、FX_{2NC}系列 PLC 内部计数器编号见表 3-24。

表 3-24　FX_{2N}、FX_{2NC}系列 PLC 内部计数器编号

FX_{2N}、FX_{2NC} 系列	C0 ~ C99 100 点	C100 ~ C199 100 点	C200 ~ C219 20 点	C220 ~ C234 15 点

（1）16 位增计数器（C0 ~ C199）

FX_{2N}中的 16 位增计数器，是 16 位二进制加法计数器，它在计数信号的上升沿进行计数。它有两个输入：一个用于复位，一个用于计数。应用前先对其设置一设定值，当输入信号（上升沿）个数累加到设定值时计数器动作，其动合触点闭合、动断触点断开。计数器的设定值为 1 ~ 32767（16 位二进制），设定值除了用常数 K 设定外，还可间接通过指定数据寄存器设定。

FX 系列 PLC 有两种类型的 16 位增计数型计数器，共 200 点，其中 C0 ~ C99 为通用型，C100 ~ C199 为断电保持型（断电保持型即断电后能保持当前值待通电后继续计数）。通用与断电保持计数器点数分配，可由参数设置而随意更改。

C0 ~ C99 为通用型 16 位增计数器，共 100 点，其设定值为 K1 ~ K32767。当计数输入信号每接通一次，计数器的当前值增 1。当计数器的当前值为设定值时，计数器的输出触点接通，之后即使计数输入信号再接通，计数器的当前值也保持不变，只有复位输入信号接通时，执行复位指令，可将计数器当前值复位为 0，其输出触点也随之复位。计数过程中如果断电，通用型计数器失去原计数数值，再次通电后，将重新计数。

C100 ~ C199 为断电保持型 16 位增计数器，共 100 点，其设定值为 K1 ~ K32767。其工作过程与通用型相同，只是在计数过程中如果断电，断电保持计数器其当前值和输出触点的置位/复位状态保持不变。

计数器的设定值除了可以用常数 K 直接设定外，还可以通过指定数据寄存器的元件号来间接设定，此号寄存器内的内容便是设定值。如指定 D125，而 D125 的内容是 200，则与设定值 K200 等效。

计数器梯形图如图 3-52 所示。

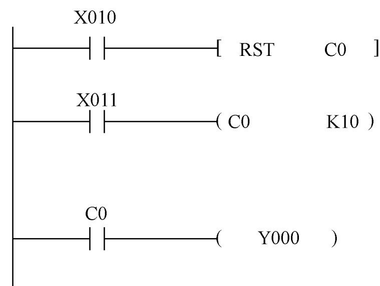


图 3-52　计数器梯形图

由计数输入 X011 每次驱动 C0 线圈时，计数器的当前值加 1。当第 10 次执行线圈指令时，计数器 C0 的输出触点即动作。之后即使计数器输入 X011 再动作，计数器的当前值也保持不变。当复位输入 X010 接通（ON）时，执行 RST 指令，计数器的当前值为 0，输出触点也复位。应注意的是，计数器 C100 ~ C199 即使发生停电，当前值与输出触点的动作状态或复位状态也能保持。

图 3-53 所示为 16 位增计数器的动作时序。

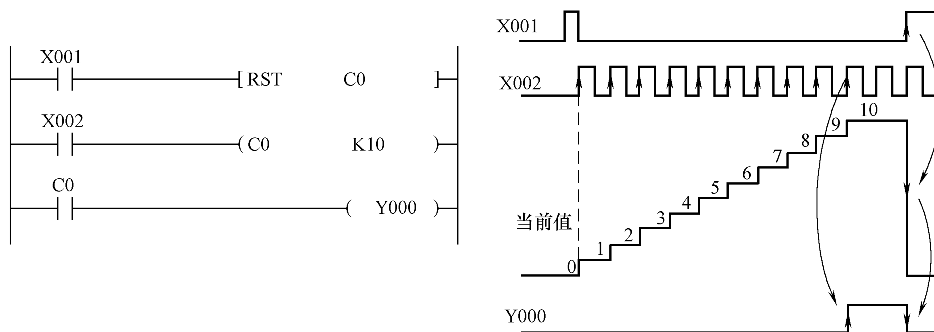


图 3-53　16 位增计数器的动作时序

X002 为计数输入，X002 每接通一次，计数器的当前值增 1。当计数器的当前值为 10 时，即计数达 10 次，计数器 C0 的输出触点接通，随之 Y000 线圈得电。当复位输入 X001 接通时，执行 RST（复位）指令，计数器当前值复位为 0，其输出触点也随之复位。

（2）32 位增/减计数器（C200 ~ C234）

共有 35 点 32 位加/减计数器，其中 C200 ~ C219（共 20 点）为通用型，C220 ~ C234（共 15 点）为断电保持型。这类计数器与 16 位增计数器除位数不同外，它还能通过控制实现加/减双向计数，设定值范围均为 -214783648 ~ 214783647（32 位）。这些计数器供 PLC 的内部信号使用，其响应速度通常为 10Hz 以下。

C200 ~ C234 是增计数还是减计数，分别由特殊辅助继电器 M8200 ~ M8234 设定。对应的特殊辅助继电器被置为“ON”状态时为减计数，置为“OFF”状态时为增计数。

计数器的设定值与 16 位计数器一样，可直接用常数 K 或间接用数据寄存器 D 的内容作为设定值。在间接设定时，要用编号紧连在一起的两个数据计数器。

双向计数器就是既可以设置为增计数又可以设置为减计数的计数器。32 位双相计数器计数值设定范围为 -2147483648 ~ 2147483647。FX 系列 PLC 有两种 32 位双相计数器：一种为通用型；另一种为断电保持型，共 35 个。

C200 ~ C219 为通用型 32 位双向计数器，共 20 点。作增计数或减计数（计数方向）由特殊辅助继电器 M8200 ~ M8219 设定。计数器与特殊辅助继电器一一对应，如计数器 C212 对应 M8212。对于计数器，当对应的辅助继电器接通（置 1）时为减计数；当对应的辅助继电器断开（置 0）时为加计数。计数值的设定可以直接用常数 K 或间接用数据寄存器 D 的内容作为设定值，但间接设定时，要用元件号连在一起的两个数据寄存器，因为两个数据寄存器组成 32 位。

C220 ~ C234 为断电保持型 32 位双向计数器，共 15 点。作增计数或减计数（计数方向）由特殊辅助继电器 M8220 ~ M8234 设定。其工作过程与通用型 32 位双向计数器相同，不同之处在于断电保持型 32 位双向计数器的当前值和触点状态在断电时均能保持。

图 3-54 所示为 32 位双向计数器的动作时序。

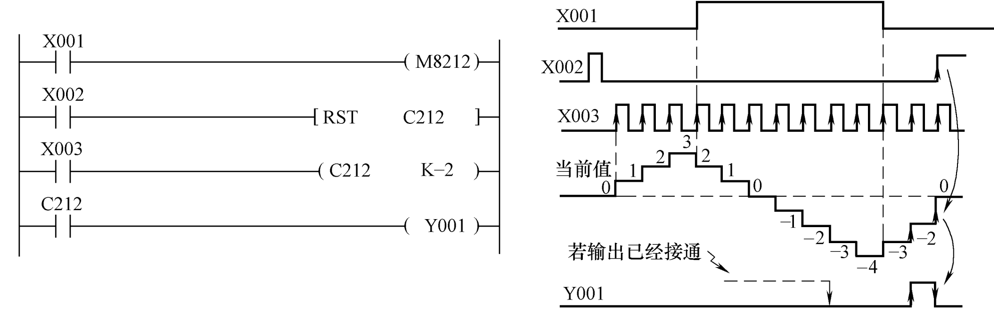


图 3-54　32 位双向计数器的动作时序

计数器 C212 作增计数还是减计数取决于 M8212 的通断。M8212 断开 C212 作增计数，M8212 接通作减计数，因而 X001 的通断决定了 C212 的计数方向。X003 作为计数输入，驱动 C212 线圈进行加计数或减计数。X002 用于计数器 C212 复位。

当计数器的当前值由 -3→-2（增加）时，计数器的触点接通（置位），Y001 便有输

出，由 -2→-3（减小）时，其触点断开（复位）。当复位输入 X002 接通，通过 RST（复位）指令，使得计数器 C212 复位，其触点断开（复位），随之 Y001 停止输出。

双向计数器是循环计数器，如果计数器的当前值在最大值 2147483647 时进行加计数，则当前值就成为最小值 -2147483647。类似地，如果计数器的当前值在最小值 -2147483647 时进行减计数，则当前值就成为最大值 2147483647。

2. 高速计数器（C235～C255）

高速计数器与内部计数器相比除允许输入频率高之外，应用也更为灵活。高速计数器均有断电保持功能，通过参数设定也可变成非断电保持。FX_{2N}系列 PLC 有 21 点高速计数器，元件编号为 C235～C255，适合用来作为高速计数器输入的 PLC 输入端口有 X000～X007。X000～X007 不能重复使用，即某一个输入端已被某个高速计数器占用，它就不能再用于其他高速计数器，也不能进行它用。由于只有 6 个高速计数的输入，因此最多只能同时用 6 个高速计数器。

高速计数器是按中断方式运行的，可进行 kHz 数的计数，而与 PLC 的扫描无关。所选定的计数器的线圈应被连续驱动，以表示与它有关的输入点已被使用，其他高速计数器的处理不能与它冲突。连续驱动计数器的软元件触点可以是输入继电器触点，也可以是特殊辅助继电器（如 M8000）的动合触点等。

高速计数器分为 1 相型和 2 相型两类：

1）1 相型高速计数器分为：1 相无启动/复位 C235～C240；1 相带启动/复位 C241～C245。

2）2 相型高速计数器分为：1 相 2 输入双向计数器 C246～C245；2 相 A-B 相计数器 C251～C255。

表 3-25 所示为高速计数器一览表。

表 3-25　高速计数器一览表

输入	1 相无启动/复位计数器						1 相带启动/复位计数器					2 相双向计数器					2 相 A-B 相计数器				
	C235	C236	C237	C238	C239	C240	C241	C242	C243	C244	C245	C246	C247	C248	C249	C250	C251	C252	C253	C254	C255
X000	U/D						U/D			U/D		U	U		U		A	A		A	
X001		U/D					R			R		D	D		D		B	B		B	
X002			U/D					U/D			U/D		R		R			R		R	
X003				U/D				R			R			U		U			A		A
X004					U/D				U/D					D		D			B		B
X005						U/D			R					R		R			R		R
X006										S					S					S	
X007											S					S					S

注：U——增计数输入；D——减计数输入；A——A 相输入；B——B 相输入；R——复位输入；S——启动输入；X006、X007 只能用作启动信号，而不能用作计数信号。

1 相型高速计数器共 11 点（C235～C245），所有计数器都是 32 位增/减计数器，即双相计数器，其触点动作方式及计数方向设定与普通 32 位双相计数器相同。作增计数器时，计数值达到设定值触点动作并保持；作减计数器时，计数值达到设定值触点复位。其中，C235～C240 为 1 相无启动/复位计数器，C241～C245 为 1 相带启动/复位计数器。

特殊辅助继电器 M8235～M8245 用来设置与之对应的计数器 C235～C245 的计数方向。M 为 ON 时为减计数，为 OFF 时为加计数。要想使得计数器 C235～C245 复位，只有使用 RST 指令。

1 相无启动/复位计数器共 6 点（C235～C240），每个计数器只有一个输入端。由表 3-25可知，C235 利用 X000 作为高速脉冲的输入端、…C240 利用 X005 作为高速脉冲的输入端，可以双相计数（U/D 表示可以增、减计数），增、减计数由 M8235～M8240 的 “OFF” 及 “ON” 状态决定。图 3-55 所示为 1 相无启动/复位计数器的用法举例。

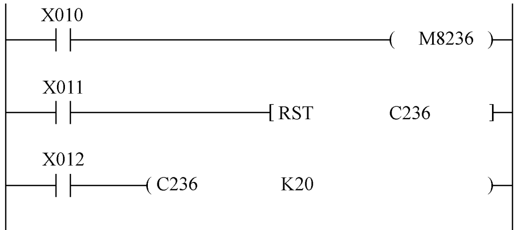


图 3-55　1 相无启动/复位计数器的用法

要想使得计数器 C236 进行计数，X012 必须接通（即 C236 的线圈被驱动，才选中了计数器 C236）。由于输入端 X001 是计数器 C236 的脉冲计数输入端，所以在 X012 接通的条件下，计数器 C236 对来自 X001 端的脉冲进行计数。

M8236 的通、断决定了计数器 C236 是进行减计数还是增计数，所有 X010 接通时 C236 进行的是减计数，X010 断开时 C236 进行的是加计数。在进行加计数时，当计数值达到设定值 K20 时，C236 的触点动作并保持；在进行减计数时，当计数值达到设定值 K20 时，C236 的触点复位。

要想使得计数器 C236 复位，只有使用 RST 指令，X011 的接通使得计数器 C236 复位，其触点断开。

1 相带启动/复位计数器共有 5 点（C241～C245），每个计数器各有一个计数输入端和一个复位输入端，其中 C244、C245 还另有一个起动输入端。例如，C244 计数输入端为 X000（对 X000 输入的脉冲进行计数），复位输入端为 X001（X001 端接通使得 C244 复位），起动输入端为 X006（X006 接通，C244 立即对 X000 输入的脉冲进行计数）。特殊辅助继电器 M8241～M8245 的接通、断开决定了 C241～C245 进行减计数还是加计数。

图 3-56 所示为 1 相带启动/复位计数器的用法举例。

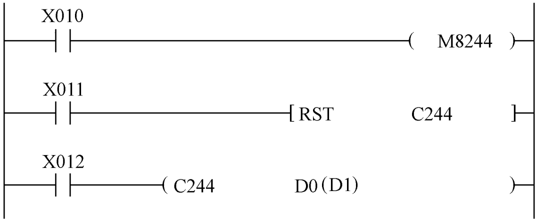


图 3-56　1 相带启动/复位计数器

X012 接通时，C244 被选中。如果 X006 接通，C244 立即对 X000 输入的脉冲进行计数。计数设定值为数据寄存器 D1、D0 的内容（D1，D0）。可以在程序上用 X011 对 C244 进行复位，但是如果 X001 接通，C244 立即复位，不需要该条程序。M8244 的通、断决定 C244 进行减计数还是增计数，因而 X010 的通、断决定了 C244 进行减计数还是增计数。

2 相型高速计数器共有 10 点（C246～C255）。所谓 2 相是指这些计数器有两个输入端，一个输入端专门用于增计数信号输入，而另一个输入端专门用于减计数信号输入。

C246～C250 为 2 相双向计数器，它们有一个增计数输入端和一个减计数输入端，某些计数器还有复位和起动输入端。例如，C246 的增、减计数端分别是 X000 和 X001。在计数

器的线圈接通后，X000 的上升沿使得计数器的当前值加 1；X001 的上升沿使得计数器的当前值减 1。

C251 ~ C255 为 2 相 A-B 相计数器。它们有两个计数输入端，有的计数器还有复位和起动输入端。

计数器的最高计数频率受两个因素制约：一是各个输入端的响应速度，二是全部高速计数器的处理时间。高速计数器的处理时间是限制高速计数器计数频率的主要因素。高速计数器是采用中断方式运行的，因此同时使用的计数器数量越少，计数频率就越高。如果某些计数器用比较低的频率进行计数，则其他计数器就能以较高的频率进行计数。

对于高速计数器的计数频率，单相和双向计数器最高为 10kHz，A-B 相计数器最高为 5kHz。

最高总计数频率是指同时在 PLC 计数输入端出现的所有输入信号频率之和的最大值。最高的总计数频率：FX_{1N}为 60kHz，FX_{2N}为 20kHz。计算总计数频率时 A-B 相计数器的频率应加倍。

3.5.8 数据寄存器

数据寄存器（D）是存储数据用的软元件。PLC 在进行输入输出处理、模拟量控制、位置控制时，需要许多数据寄存器存储数据和参数，用 D 表示。FX 系列 PLC 的数据寄存器都是 16 位的（最高位为符号位），将两个寄存器组合可进行 32 位（最高位为符号位）的数据处理（数值范围请参阅上述计数器）。数据寄存器可以存储 16 位二进制数或称一个字。要想存储 32 位二进制数据（双字），必须同时用两个序号连续的数据寄存器进行数据存储。例如，用 D0 和 D1 存储双字，D0 存放低 16 位，D1 存放高 16 位。字或双字的最高位为符号位，0 表示为正数，1 表示为负数。FX_{2N}、FX_{2NC}系列 PLC 数据寄存器编号见表 3-26。

表 3-26 FX_{2N}、FX_{2NC}系列 PLC 数据寄存器编号

FX_{2N}、FX_{2NC} 系列	D0 ~ D199 200 点	D200 ~ D511 312 点	D512 ~ D7999 7488 点	根据参数设定，可以将 D1000 以下作为文件寄存器	D8000 ~ D8255 256 点	V0(V) ~ V7 Z0(Z) ~ 27 16 点

跟其他软元件一样，数据寄存器也有供一般使用和断电保持使用两种。

在数据寄存器中，还有供变址（修改）用的 Z、V 寄存器。V、Z 寄存器与其他软元件一起使用如下所示：

令 V0 = 5，Z0 = 5，则 D100V0 = D105，C20Z0 = C25。

数据寄存器与变址寄存器可用于定时器与计数器设定值的间接指定和应用指令中。数据寄存器的数值读出与写入一般采用应用指令，而且可以从数据存储单元（显示器）与编程装置直接读出与写入。数据寄存器分为通用数据寄存器、断电保持数据寄存器、特殊数据寄存器和文件寄存器等。

1. 通用数据寄存器D0 ~D199

共 200 点。将数据写入通用数据寄存器后，其值将保持不变，直到下一次被改写。PLC 由运行（RUN）状态进入到停止（STOP）状态时，所有的通用数据寄存器的值都变为 0。如果特殊辅助继电器 M8033 接通，PLC 由运行（RUN）状态进入到停止（STOP）状态时，

通用数据寄存器的值将保持不变。当 M8033 为“ON”状态时，D0 ~ D199 有断电保护功能；当 M8033 为“OFF”状态时，则它们无断电保护，这种情况 PLC 由 RUN →STOP 或停电时，数据全部清零。

2. 断电保持数据寄存器D200 ~D7999

共 7800 点。通道分配为 D200 ~ D511，共 312 点；或为 D200 ~ D999，共 800 点（由机器的具体型号定）。有断电保持功能，可以利用外部设备的参数设定改变通用数据寄存器与有断电保持功能数据寄存器的分配；断电保持数据寄存器在 PLC 由运行（RUN）状态进入到停止（STOP）状态时，其值保持不变。利用参数设定，可以改变断电保持数据寄存器的范围。基本上同通用数据寄存器。除非改写，否则原有数据不会丢失，不论电源接通与否，PLC 运行与否，其内容也不变化。然而在两台 PLC 作点对点的通信时，D490 ~ D509 被用作通信操作。D512 ~ D7999 的断电保持功能不能用软件改变，但可用指令清除它们的内容。根据参数设定可以将 D1000 以上做为文件寄存器。

3. 特殊数据寄存器D8000 ~D8255

共 256 点，其作用是用来监控 PLC 的运行状态。未加定义的特殊数据寄存器，用户不能使用，具体可参考 PLC 使用手册。特殊数据寄存器是指写入特定目的的数据，或事先写入特定的内容。其内容在电源接通时，写入初始化值（一般先清零，然后由系统 ROM 来写入），用来控制和监视 PLC 内部的各种工作方式和元件，如备用锂电池的电压、扫描时间、正在动作的状态的编号等。PLC 上电时，这些数据寄存器被写入默认的值。例如，D8000—WDT 定时器定时参数（初始值 100ms），D8001—CPU 型号，D8039—恒定扫描时间（ms）。

4. 文件寄存器D1000 ~D7999

共 7000 点。文件寄存器是在用户程序存储器（RAM、EEPROM、EPROM）内的一个存储区，文件寄存器以 500 点为单位。文件寄存器实际上被设置为 PLC 的参数区，它可被外部设备存取。文件寄存器与锁存寄存器重叠，数据不会丢失。FX_{2N} 系列 PLC 的文件寄存器可以通过块传送指令来改写其内容。在 PLC 运行时，可用 BMOV 指令读到通用数据寄存器中，但是不能用指令将数据写入文件寄存器。用 BMOV 将数据写入 RAM 后，再从 RAM 中读出。将数据写入 EEPROM 盒时，需要花费一定的时间，请务必注意。

RAM 文件寄存器的通道分配为 D6000 ~ D7999，共 2000 点。

驱动特殊辅助继电器，M8074。由于采用扫描被禁止，上述的数据寄存器可作为文件寄存器处理，用 BMOV 指令传送数据（写入或读出），如图 3-57 所示。

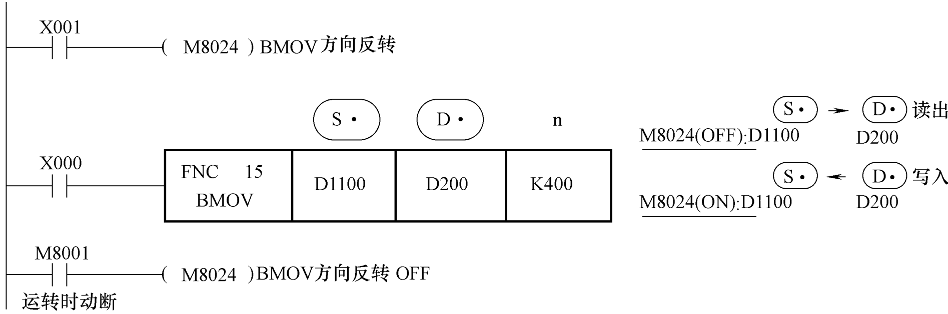


图 3-57　用 BMOV 指令传送数据

3.5.9 变址寄存器

FX_{2N}系列 PLC 有 V0 ~ V7 和 Z0 ~ Z7 共 16 个变址寄存器，它们都是 16 位的寄存器。变址寄存器（V/Z）实际上是一种具有特殊用途的数据寄存器，其作用相当于微型计算机中的变址寄存器，用于改变元件的编号（变址），例如 V0 = 5，则执行 D20V0 时，被执行的编号为 D25（D20 + 5）。变址寄存器可以像其他数据寄存器一样进行读写，需要进行 32 位操作时，可将 V、Z 串联使用（Z 为低位，V 为高位）。

FX_{2N}系列 PLC 的变址寄存器有 16 个点，即 V0 ~ V7 和 Z0 ~ Z7。当 V0 = 8，Z1 = 20 时，执行指令 MOV D5V0 D10Z1，则数据寄存器的元件号 D5V0 实际上相当于 D13（5 + 8 = 13），D10Z1 则相当于 D30（10 + 20 = 30）。

变址寄存器都是 16 位数据寄存器，表示时如果 V = 5，Z = 10，则 D5V = D10（5 + 5 = 10），D5Z = D15（5 + 10 = 15）。32 位指令中 V、Z 自动组对使用，V 作为高 16 位，Z 作为低 16 位，使用时只需编写 Z。

V、Z 两种变址寄存器与数据寄存器有同样的结构。变址寄存器的结构如图 3-58 所示。

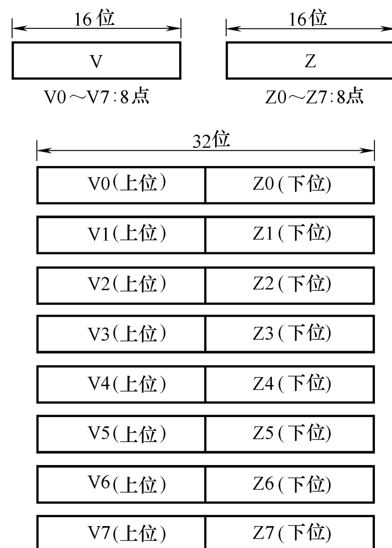


图 3-58 变址寄存器的结构

3.5.10 指针

指针用于分支与中断。分支用的指针（P）用于指定 FNC00（CJ）条件跳转或 FNC01（CALL）子程序的跳转目标。中断用的指针（I）用于指定输入中断、定时中断和计数器中断的中断程序。FX 系列 PLC 指针编号见表 3-27。

表 3-27 FX 系列 PLC 指针编号

	分支用		插入输入用	插入计数用	计数器中断用
		结束跳转用			
FX_{1S}系列	P0 ~ P62 63 点	P63 1 点	I00□(X000) I10□(X001) I20□(X002) 6 I30□(X003) 点 I40□(X004) I50□(X005)	—	—
FX_{1N}系列	此状态编号请参照 PLC 的使用手册				
FX_{2N} FX_{2NC}系列	P0 ~ P62 P64 ~ P127 127 点	P63 1 点	I00□(X000) I10□(X001) I20□(X002) 6 I30□(X003) 点 I40□(X004) I50□(X005)	I6□□ I7□□ 3 点 18□□	I010 I040 I020 I050 6 点 I030 I060

指针有两种：分支用指针（P0～P127）共 128 点，中断用指针（I）共 15 点。在 FX 系列中，指针用来指示分支指令的跳转目标和中断程序的入口标号，分为分支用指针、输入中断指针及定时中断指针和记数中断指针。

1. 分支用指针（P0 ~P127）

FX_{2N}系列 PLC 有 P0～P127 共 128 点分支用指针。分支指针用来指示跳转指令（CJ）的跳转目标或子程序调用指令（CALL）调用子程序的入口地址，使用分支用指针（P）的应用指令如图 3-59 所示。

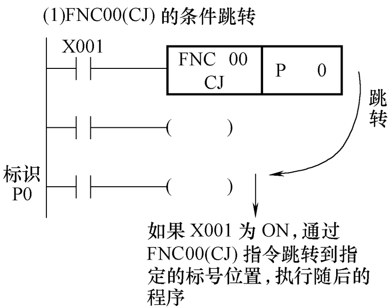


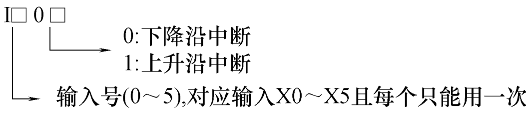
图 3-59　使用分支用指针（P）的应用指令

2. 中断指针（I0□□ ~I8□□）

中断指针是用来指示某一中断程序的入口位置。执行中断后遇到 IRET（中断返回）指令，则返回主程序。中断用指针有以下三种类型：

（1）输入中断用指针（I00□～I50□）

共 6 点，它是用来指示由特定输入端的输入信号而产生中断的中断服务程序的入口位置，这类中断不受 PLC 扫描周期的影响，可以及时处理外界信息。输入中断用指针的编号格式如下：



例如，I101 为当输入 X1 从 OFF→ON 变化时，执行以 I101 为标号后面的中断程序，并根据 IRET 指令返回。

（2）定时器中断用指针（I6□□～I8□□）

共 3 点，取值范围为 6-8，是用来指示周期定时中断的中断服务程序的入口位置。这类中断的作用是 PLC 以指定的周期定时执行中断服务程序，定时循环处理某些任务。处理的时间也不受 PLC 扫描周期的限制，每个定时器只能用 1 次。□□表示定时范围，可在 10～99ms 中选取。

例如，I710，即每隔 10ms 就执行标号为 I710 后面的中断程序，并根据 IRET 指令返回。

（3）计数器中断用指针（I010～I060）

共 6 点，它们用在 PLC 内置的高速计数器中。根据高速计数器的计数当前值与计数设定值之关系确定是否执行中断服务程序，它常用于利用高速计数器优先处理计数结果的场合。

第 4 章　PLC 基本指令

4.1　FX 系列 PLC 的基本指令

基本逻辑指令是 PLC 中最基本的编程语言，掌握了它也就初步掌握了 PLC 的使用方法，各种型号 PLC 的基本逻辑指令都大同小异。FX_{2N}系列 PLC 共有基本指令 27 条，基本指令一般由助记符和操作元件组成，助记符是每一条基本指令的符号，它表明操作功能；操作元件是被操作的对象。有些基本指令只有助记符，没有操作元件。

4.1.1　LD、LDI、OUT 指令

LD、LDI、OUT 指令见表 4-1。

表 4-1　LD、LDI、OUT 指令

助记符、名称	功能	回路表示和可用软元件	程序步
LD(取)	动合触点逻辑运算开始	X,Y,M,S,T,C	1
LDI(取反)	动断触点逻辑运算开始	X,Y,M,S,T,C	1
OUT(输出)	线圈驱动	Y,M,S,T,C	Y,M:1,S,特 M:2 T:3,C:3-5

1. LD 指令

LD 指令称为“取指令”，用于动合触点逻辑运算开始，即动合触点与梯形图左母线连接，其操作元件为 X、Y、M、S、T、C。图 4-1 所示为 LD 指令在梯形图中的表示。

2. LDI 指令

LDI 指令称为“取反指令”，用于动断触点逻辑运算开始，即动断触点与梯形图左母线连接，其操作元件为 X、Y、M、S、T、C。

3. OUT 指令

OUT 指令称为“输出指令”或“驱动指令”，用于输出逻辑运算结果，也就是根据逻辑运算结果去驱动一个指定的线圈，其操作元件为 Y、M、S、T、C。图 4-2 所示为 OUT 指令在梯形图中的表示。

LD、LDI 和 OUT 指令的应用如图 4-3 所示。

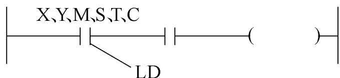


图 4-1　LD 指令在梯形图中的表示

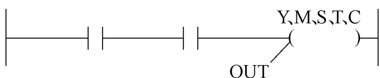


图 4-2　OUT 指令在梯形图中的表示

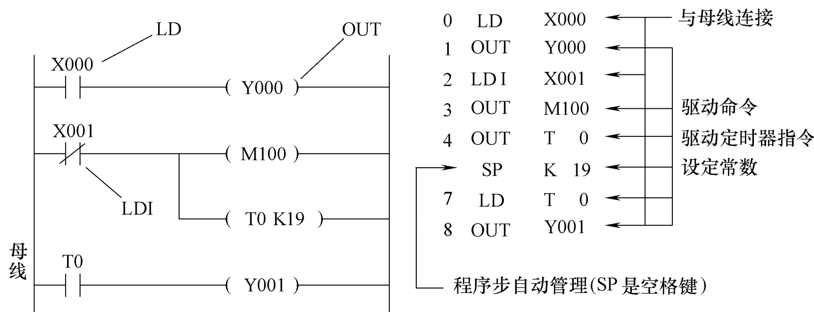


图 4-3　LD、LDI 和 OUT 指令的应用

对于定时器的计时线圈或计数器的计数线圈，使用 OUT 指令后，必须设定常数 K。此外，也可用数据寄存器编号间接指定。

常数 K 的设定范围、实际的定时器常数以及相对于 OUT 指令的程序步数（包含设定值）见表 4-2。

表 4-2　常数 K 设定表

定时器、计数器	K 的设定范围	实际的设定值	步数
1ms 定时器	1 ~ 32767	0.001 ~ 32.767s	3
10ms 定时器	1 ~ 32767	0.01 ~ 327.67s	3
100ms 定时器		0.1 ~ 3276.7s	
16 位计数器	1 ~ 32767	1 ~ 32767	3
32 位计数器	−2147483648 ~ 2147483647	−2147483648 ~ 2147483647	5

【例 4-1】　写出如图 4-4 所示梯形图的指令语句表。

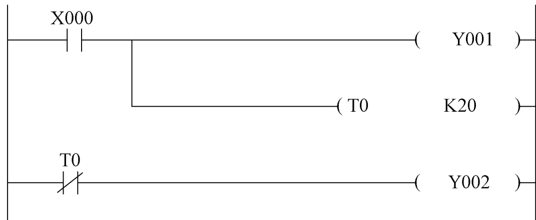


图 4-4　梯形图（例 4-1）

解：拿到梯形图后，要按从上到下、自左到右的顺序将梯形图阅读清楚，充分了解各触点之间的逻辑关系，然后应用基本指令写出指令语句表。与图 4-4 所示梯形图对应的指令表如下：

步序	助记符	操作数
0	LD	X000

1	OUT	Y001
2	OUT	T0
5	LDI	T0
6	OUT	Y002

【例 4-2】（见图 4-5）：

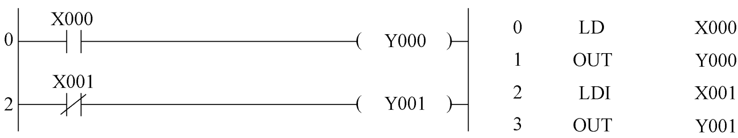


图 4-5　梯形图及指令表（例 4-2）

例题解释：1）当 X000 接通时，Y000 接通；2）当 X001 断开时，Y001 接通。

4. 指令使用说明

1）LD 和 LDI 指令用于将动合和动断触点接到左母线上。

2）LD 和 LDI 在电路块分支起点处也使用。

3）LD、LDI 指令既可用于输入左母线相连的触点，也可与 ANB、ORB 指令配合实现块逻辑运算。

4）LD、LDI 指令的目标元件为 X、Y、M、T、C、S。

5）OUT 指令是对输出继电器、辅助继电器、状态继电器、定时器、计数器的线圈驱动指令，不能用于驱动输入继电器，因为输入继电器的状态是由输入信号决定的。

6）OUT 指令可作多次并联使用，如图 4-6 所示。

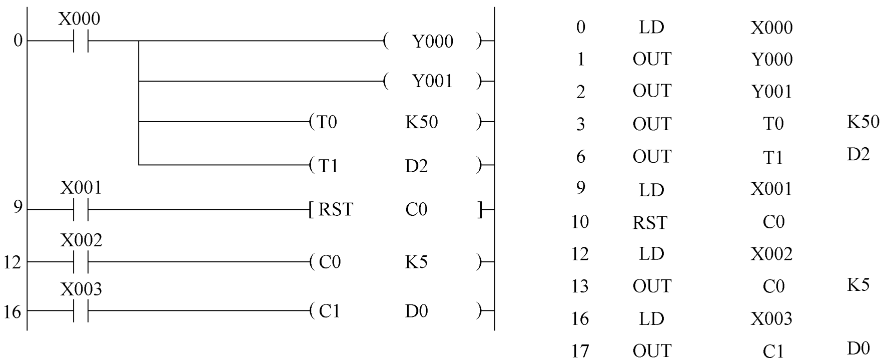


图 4-6　梯形图及对应指令表

7）OUT 指令目标元件为 Y、M、T、C 和 S，OUT 指令不能用于驱动输入继电器 X，因为输入继电器的状态由输入信号决定。

8）OUT 指令之后，通过触点对其他线圈使用 OUT 指令，称之为纵接输出。这种纵接输出如果顺序不错，可多次重复使用；如果顺序颠倒，就必须要用下面将要讲到的指令（MPS/MRD/MPP），如图 4-7 所示。

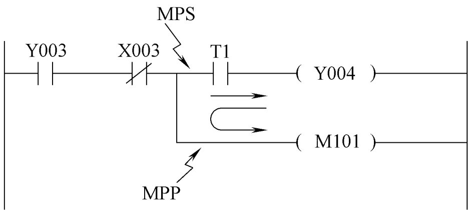


图 4-7　使用 MPS 或 MPP 指令的梯形图

9）OUT 指令可以连续使用若干次（相当

于线圈并联)，对于定时器和计数器，在 OUT 指令之后应设置常数 K 或数据寄存器。此外，也可指定数据寄存器的地址号，以此地址号数据寄存器内的内容作为设定值。如图 4-8 中 OUT T0 后要有时间设定值 K20，OUT C0 后要有计数器设定值 K10 等。

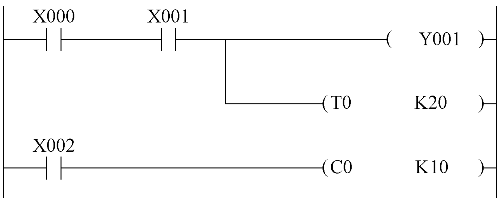


图 4-8　OUT 指令

4.1.2　AND、ANI 指令

AND、ANI 指令见表 4-3。

表 4-3　AND、ANI 指令

助记符、名称	功能	回路表示和可用软元件	程序步
AND(与)	动合触点串联连接	X,Y,M,S,T,C	1
ANI(与非)	动断触点串联连接	X,Y,M,S,T,C	1

1. AND 指令

AND 指令称为“与指令”，用于使继电器的动合触点与其他继电器的触点串联，其操作元件为 X、Y、M、S、T、C。图 4-9 所示为 AND 指令在梯形图中的表示。

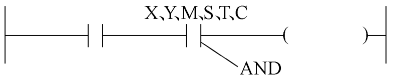


图 4-9　AND 指令在梯形图中的表示

2. ANI 指令

ANI 指令称为“与非指令”，用于使继电器的动断触点与其他继电器的触点串联，其操作元件为 X、Y、M、S、T、C。图 4-10 所示为 ANI 指令在梯形图中的表示。

【例 4-3】 写出图 4-11 所示梯形图的指令语句表。

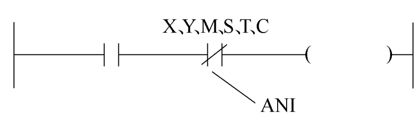


图 4-10　ANI 指令在梯形图中的表示

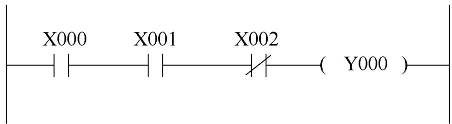


图 4-11　梯形图（例 4-3）

解：与梯形图对应的指令语句表如下：

```
0    LD     X000
1    AND    X001
2    ANI    X002
3    OUT    Y000
```

【例 4-4】（见图 4-12）：

例题解释：1）当 X000、X002 接通时，Y000 接通；

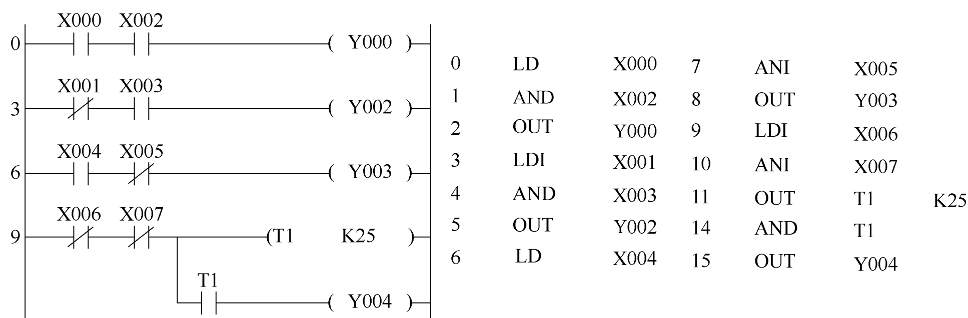


图 4-12　梯形图及对应指令表（例 4-4）

2）X001 断开、X003 接通时，Y002 接通；

3）X004 接通、X005 断开时，Y003 接通；

4）X006 断开、X007 断开，同时达到 2.5s 时间时，T1 接通、Y004 接通。

【例 4-5】（见图 4-13）：

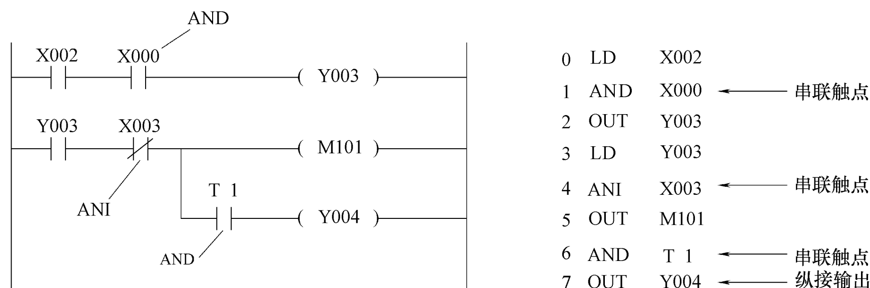


图 4-13　梯形图及对应指令表（例 4-5）

例题解释：

1）当 X002、X000 接通时，Y003 接通；

2）当 Y003 接通、X003 断开时，M101 接通；

3）达到定时时间时，T1 接通，Y004 接通。

3. AND、ANI 指令使用说明

1）AND、ANI 指令可进行触点的串联连接。串联触点的数量不受限制，可以连续使用。

2）当继电器的动合触点或动断触点与其他继电器的触点组成的电路块串联时，也使用 AND 指令或 ANI 指令。

3）OUT 指令后，通过触点对其他线圈使用 OUT 指令，称之为纵接输出。如图 4-14 所示，X001 的动合触点与 Y001 线圈串联后，又与 Y000 线圈并联，就是纵接输出。这时 X001 的动合触点仍可以用 AND 指令，如果顺序不错可多次重复，如图 4-15 所示。

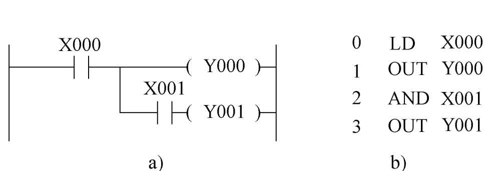


图 4-14　纵接输出（一）

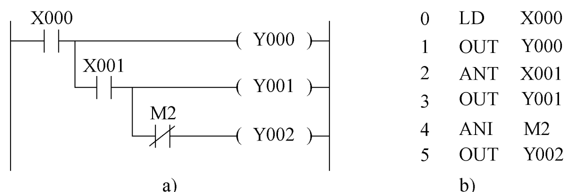


图 4-15　纵接输出（二）

4.1.3　OR、ORI 指令

OR、ORI 指令见表 4-4，OR、ORI 指令的使用如图 4-16 所示。

表 4-4　OR、ORI 指令

助记符、名称	功能	回路表示和可用软元件	程序步
OR(或)	动合触点的并联连接	X,Y,M,S,T,C	1
ORI(或非)	动断触点的并联连接	X,Y,M,S,T,C	1

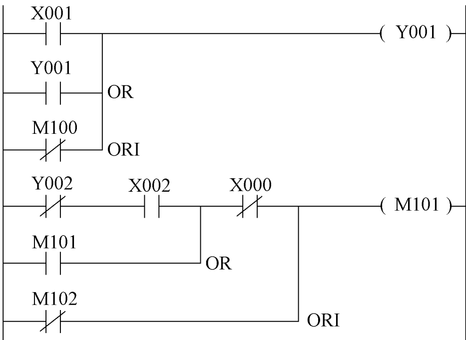


图 4-16　OR、ORI 指令在梯形图中的表示

1. OR 指令

OR 指令称为“或指令”，用于使继电器的动合触点与其他继电器的触点并联，其操作元件为 X、Y、M、S、T、C。图 4-17 所示为 OR 指令在梯形图中的表示。

2. ORI 指令

ORI 指令称为“或非指令”，用于使继电器的动断触点与其他继电器的触点并联，其操作元件为 X、Y、M、S、T、C。图 4-18 所示为 ORI 指令在梯形图中的表示。

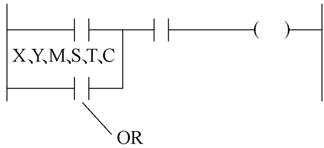


图 4-17　OR 指令在梯形图中的表示

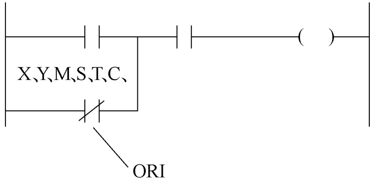


图 4-18　ORI 指令在梯形图中的表示

【例 4-6】 写出如图 4-19 所示梯形图的指令表。

解：与梯形图对应的指令表如下：

```
0    LD    X000
1    OR    X003
```

2	ORI	X004
3	AND	X001
4	ANI	X002
5	OUT	Y000

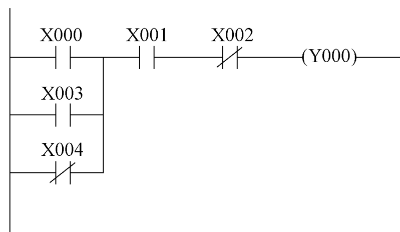
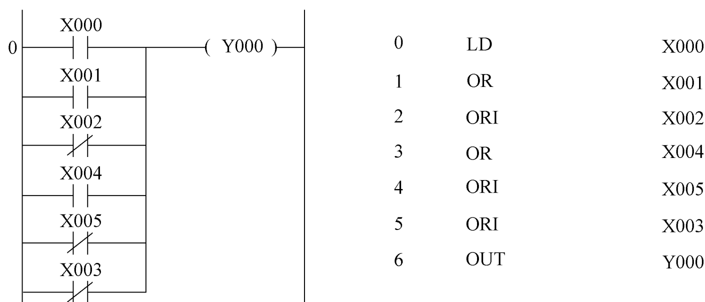


图 4-19　梯形图（例 4-6）

3. 指令说明

1）OR、ORI 指令用作触点的并联连接指令。

2）OR、ORI 指令可以连续使用，并且不受使用次数的限制，如图 4-20 所示。

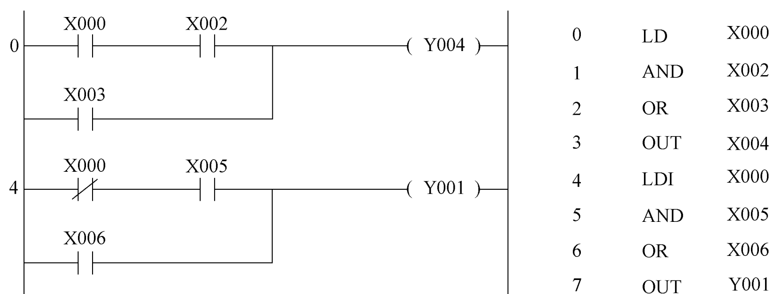


0	LD	X000
1	OR	X001
2	ORI	X002
3	OR	X004
4	ORI	X005
5	ORI	X003
6	OUT	Y000

图 4-20　指令连续使用的梯形图及指令表

3）OR、ORI 指令是从该指令的步开始，与前面的 LD、LDI 指令步进行并联连接。

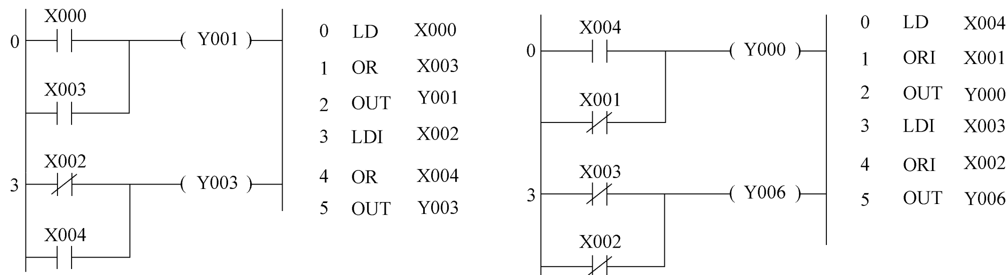
4）当继电器的动合触点或动断触点与其他继电器的触点组成的混联电路块并联时，也可以用这两个指令，如图 4-21 所示。



0	LD	X000
1	AND	X002
2	OR	X003
3	OUT	X004
4	LDI	X000
5	AND	X005
6	OR	X006
7	OUT	Y001

图 4-21　混联电路并联梯形图及指令表

【例 4-7】　（见图 4-22）：



0	LD	X000
1	OR	X003
2	OUT	Y001
3	LDI	X002
4	OR	X004
5	OUT	Y003

0	LD	X004
1	ORI	X001
2	OUT	Y000
3	LDI	X003
4	ORI	X002
5	OUT	Y006

图 4-22　梯形图及指令表（例 4-7）

例题解释：

1）当 X000 或 X003 接通时，Y001 接通；

2）当 X002 断开或 X004 接通时，Y003 接通；

3）当 X004 接通或 X001 断开时，Y000 接通；

4）当 X003 或 X002 断开时，Y006 接通。

【例 4-8】（见图 4-23）：

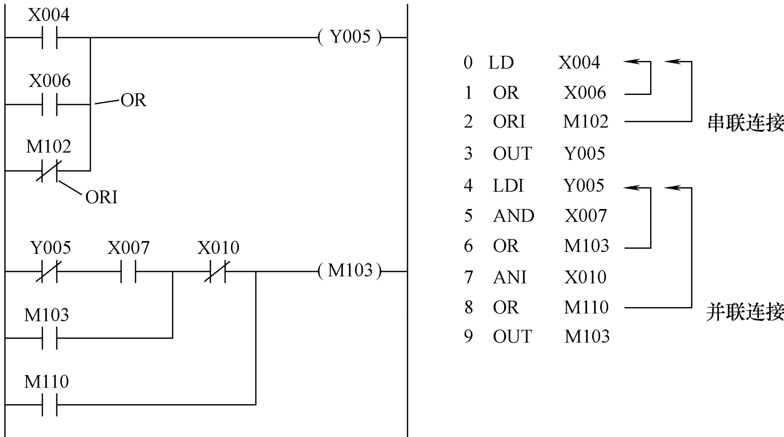


图 4-23　梯形图及指令表（例 4-8）

例题解释：

1）当 X004 接通或 X006 接通或者 M102 断开时，Y005 接通；

2）当 Y005 断开且 X007 接通或 M103 接通且 X010 断开或者 M110 接通时，M103 接通。

4.1.4　LDP、LDF、ANDP、ANDF、ORP、ORF 指令（见表 4-5）

表 4-5　LDP、LDF、ANDP、ANDF、ORP、ORF 指令

助记符、名称	功能	回路表示和可用软元件	程序步
LDP(取脉冲上升沿)	上升沿检出运算开始	X,Y,M,S,T,C	2
LDF(取脉冲下降沿)	下降沿检出运算开始	X,Y,M,S,T,C	2
ANDP(与脉冲上升沿)	上升沿检出串联连接	X,Y,M,S,T,C	2
ANDF(与脉冲下降沿)	下降沿检出串联连接	X,Y,M,S,T,C	2

（续）

助记符、名称	功能	回路表示和可用软元件	程序步
ORP（或脉冲上升沿）	上升沿检出并联连接	X，Y，M，S，T，C	2
ORF（或脉冲下降沿）	下降沿检出并联连接	X，Y，M，S，T，C	2

1. LDP、ANDP、ORP 指令

LDP、ANDP、ORP 指令是进行上升沿检测的触点指令，仅在指定位软元件上升沿时（由 OFF→ON 变化时）接通一个扫描周期，其表示方法为触点的中间有一个向上的箭头。

（1）LDP 指令

LDP 指令称为“取脉冲上升沿”指令，用于上升沿检出运算开始，其操作元件为 X、Y、M、S、T、C。图 4-24 所示为 LDP 指令在梯形图中的表示。

（2）ANDP 指令

ANDP 指令称为“与脉冲上升沿”指令，用于上升沿检出串联连接，其操作元件为 X、Y、M、S、T、C。图 4-25 所示为 ANDP 指令在梯形图中的表示。

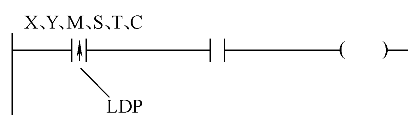


图 4-24　LDP 指令在梯形图中的表示

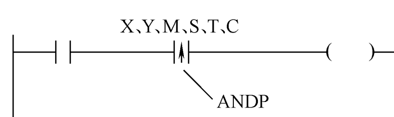


图 4-25　ANDP 指令在梯形图中的表示

（3）ORP 指令

ORP 指令称为“或脉冲上升沿”指令，用于上升沿检出并联连接，其操作元件为 X、Y、M、S、T、C。图 4-26 所示为 ORP 指令在梯形图中的表示。

2. LDF、ANDF、ORF 指令

LDF、ANDF、ORF 指令是进行下降沿检测的触点指令，仅在指定位软元件下降沿时（由 ON→OFF 变化时）接通一个扫描周期，其表示方法为触点的中间有一个向下的箭头。

（1）LDF 指令

LDF 指令称为“取脉冲下降沿”指令，用于下降沿检出运算开始，其操作元件为 X、Y、M、S、T、C。图 4-27 所示为 LDF 指令在梯形图中的表示。

（2）ANDF 指令

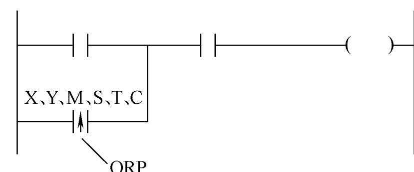


图 4-26　ORP 指令在梯形图中的表示

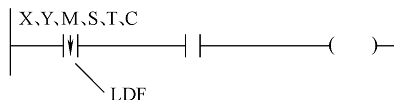


图 4-27　LDF 指令在梯形图中的表示

ANDF 指令称为“与脉冲下降沿”指令，用于下降沿检出串联连接，其操作元件为 X、Y、M、S、T、C。图 4-28 所示为 ANDF 指令在梯形图中的表示。

（3）ORF 指令

ORF 指令称为“或脉冲下降沿”指令，用于下降沿检出并联连接，其操作元件为 X、Y、M、S、T、C。图 4-29 所示为 ORF 指令在梯形图中的表示。

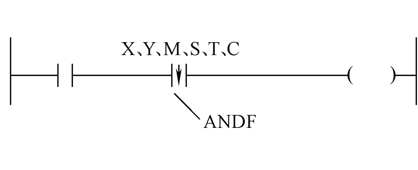


图 4-28　ANDF 指令在梯形图中的表示

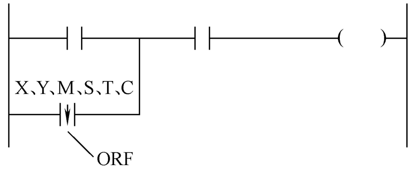


图 4-29　ORF 指令在梯形图中的表示

【例 4-9】　写出如图 4-30 所示梯形图的指令语句表。

解：梯形图对应的指令语句表如下：

a)			b)		
0	LDP	X000	0	LDF	X000
1	ORP	X001	1	ORF	X001
2	OUT	M0	2	OUT	M0
3	LD	M8000	3	LD	M8000
4	ANDP	X002	4	ANDF	X002
5	OUT	M1	5	OUT	M1

在图 4-30 中，X000、X001、X002 由 ON→OFF 或由 OFF→ON 变化时，仅有一个扫描周期 M0 或 M1 接通。

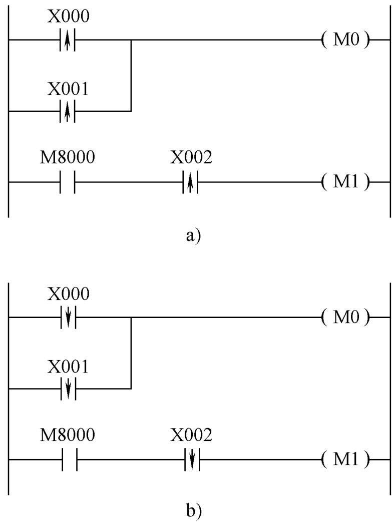


图 4-30　梯形图（例 4-9）

【例 4-10】　写出如图 4-31 所示梯形图的指令表，并画出时序图。

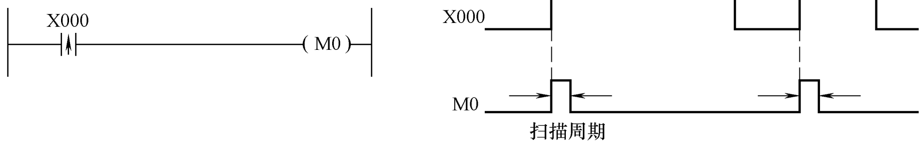


图 4-31　梯形图和时序图（例 4-10）

解：指令语句表和时序图如下：

0	LDP	X000
2	OUT	M0

此例中 X000 由 OFF→ON 变化时，M0 接通一个扫描周期。

【例 4-11】　（见图 4-32）：

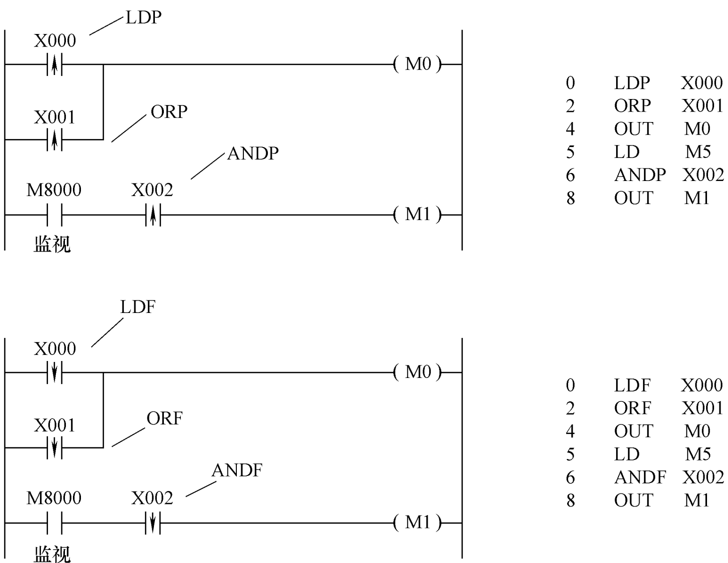


图 4-32　梯形图及指令表（例 4-32）

在图 4-32 中，X000～X002 由 ON→OFF 或由 OFF →ON 变化时，M0 或 M1 仅有一个扫描周期接通。

4.1.5　ANB、ORB 指令

1. ANB 指令

ANB 指令称为“电路块与指令”，用于电路块与电路块的串联，见表 4-6。

图 4-33 所示为 ANB 指令在梯形图中的表示，图 4-34 所示为 ANB 指令的梯形图及指令表。

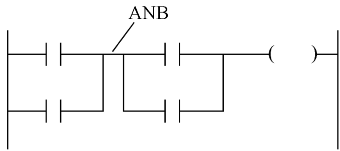


图 4-33　ANB 指令在梯形图中的表示

表 4-6　ANB 指令

助记符、名称	功能	回路表示和可用软元件	程序步
ANB(电路块与)	并联电路块的串联连接	软元件:无	1

2. ORB 指令(见表4-7)

ORB 指令称为“电路块或指令”，用于电路块与电路块并联。操作元件：无。

表 4-7　ORB 指令

助记符、名称	功能	回路表示和可用软元件	程序步
ORB(电路块或)	串联电路块的并联连接	软元件:无	1

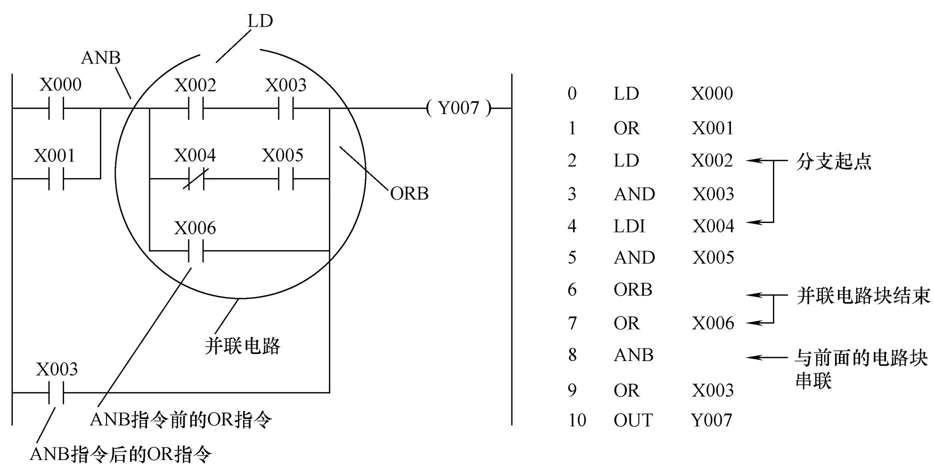


图 4-34　ANB 指令的梯形图及指令表

图 4-35 为 ORB 指令在梯形图中的表示。

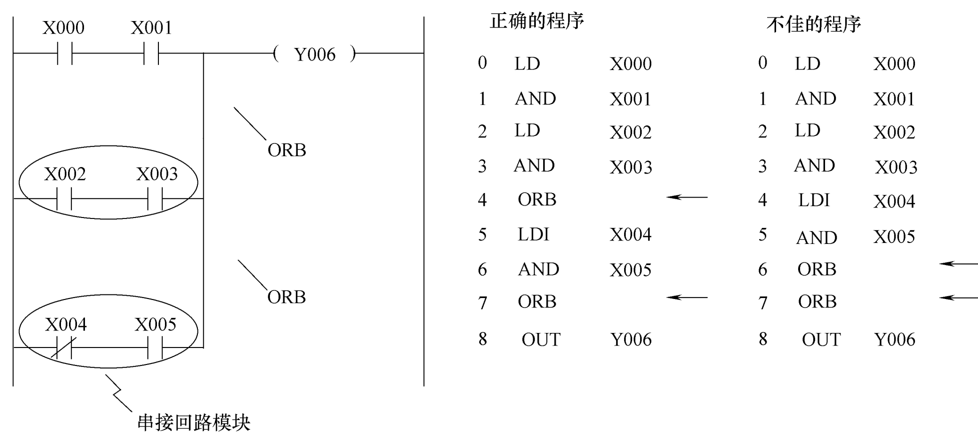


图 4-35　ORB 指令在梯形图中的表示

电路块的含义：所谓电路块，就是由几个触点按一定方式连接成的梯形图。由两个以上触点串联而成的电路块就是串联电路块，由两个以上触点并联而成的电路块就是并联电路块，触点的混联就形成了混联电路块。图 4-36 所示为各种电路块的梯形图表示。

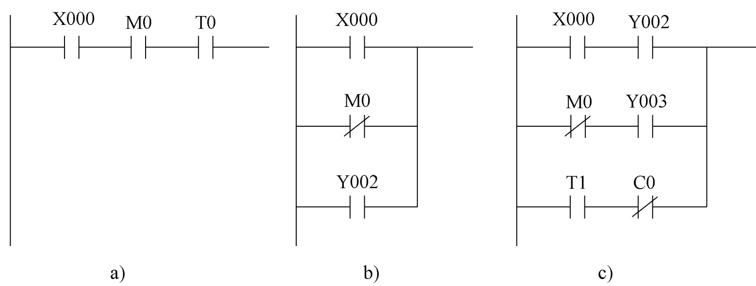


图 4-36　各种电路块的梯形图

a）串联电路块　b）并联电路块　c）混联电路块

【例 4-12】 写出图 4-37 所示梯形图指令语句表。

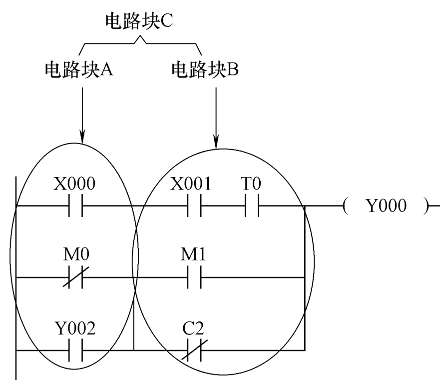


图 4-37 梯形图（例 4-12）

解：所示梯形图指令语句表如下：

0 LD X000
1 ORI M0 }电路块 A
2 OR Y002
3 LD X001
4 AND T0
5 OR M1 }电路块 B
6 ORI C2
7 ANB ←电路块 A 与 B 串联成较大的电路块 C
8 OUT Y000

【例 4-13】 写出图 4-38 所示梯形图指令语句表。

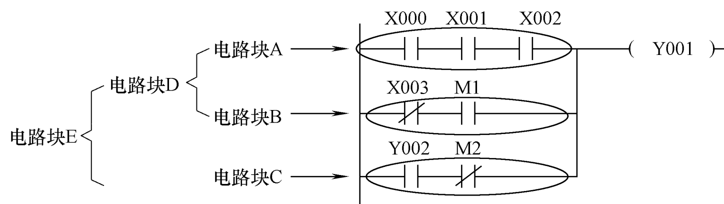


图 4-38 梯形图（例 4-13）

解：所示梯形图指令语句表如下：

0 LD X000
1 AND X001 }电路块 A
2 AND X002
3 LDI X003 }电路块 B
4 AND M1
5 ORB ←电路块 A 与电路块 B 并联成较大的电路块 D

6　LD　Y002 ⎫
7　ANI　M2 ⎭ 电路块 C

8　ORB　←电路块 C 与电路块 D 并联成较大的电路块 E

9　OUT　Y001

【例 4-14】（见图 4-39）：

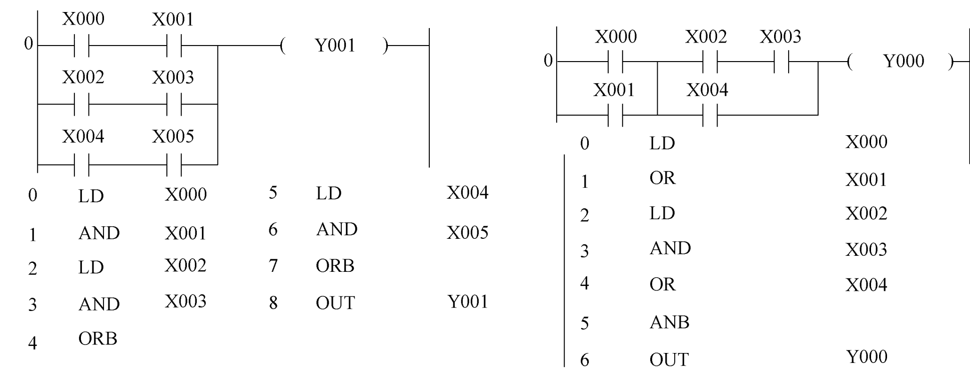


图 4-39　梯形图及指令表（例 4-14）

例题解释：1）X000 与 X001、X002 与 X003、X004 与 X005 任一电路块接通，Y001 接通；

2）X000 或 X001 接通，X002 与 X003 接通或 X004 接通，Y000 都可以接通。

3. ANB、ORB 指令使用说明（见图 4-40）

1）ANB、ORB 指令为无操作软元件，是无操作元件的独立指令，它们只描述电路块的串并联关系。

2）2 个以上触点串联的电路称为串联电路块。将串联电路并联时，分支开始用 LD、LDI 指令，分支结束用 ORB 指令。

3）有多个串联电路块时，若对每个电路块使用 ORB 指令，则串联电路没有限制。

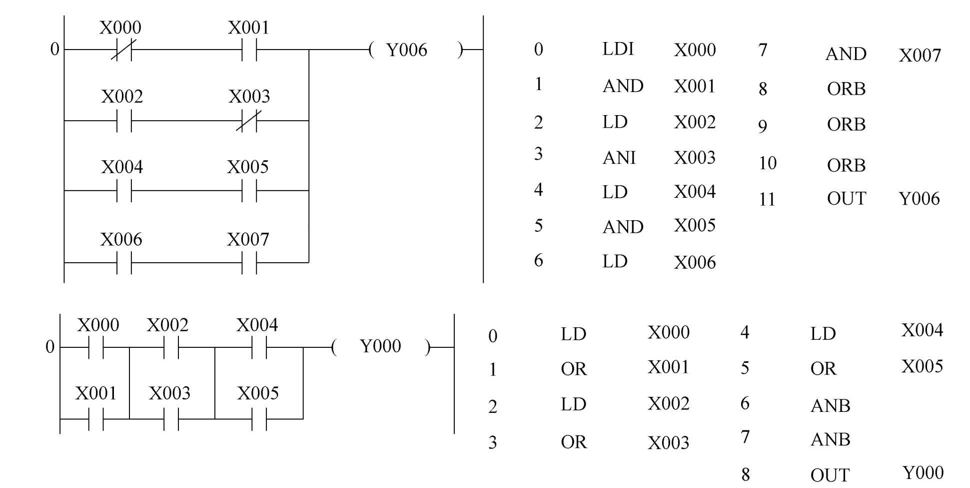


图 4-40　ANB、ORB 指令梯形图及指令表

4）若多个并联电路块按顺序和前面的电路串联，则 ANB 指令的使用次数没有限制。

5）使用 ANB、ORB 指令编程时，也可以采取 ANB、ORB 指令连续使用的方法，如图 4-40所示，但只能连续使用不超过 8 次，不建议使用此方法。

例 4-13 的指令表也可写成：

0	LD	X000
1	AND	X001
2	AND	X002
3	LDI	X003
4	AND	M1
5	LD	Y002
6	ANI	M2
7	ORB	
8	ORB	
9	OUT	Y001

这个程序中有 3 个电路块并联，所以用了两个 ORB 指令。

应注意 ANB 和 AND、ORB 和 OR 指令之间的区别，在程序设计时要利用设计技巧，能不用 ANB 或 ORB 指令时尽量不用，这样可以减少指令的使用条数。

4.1.6 MPS、MRD、MPP 指令

堆栈指令是 FX 系列 PLC 中新增的基本指令，用于多重输出电路，为编程带来了便利。在 FX 系列 PLC 中有 11 个存储单元，它们专门用来存储程序运算的中间结果，被称为栈存储器。MPS、MRD、MPP 指令分别为进栈、读栈和出栈指令。MPS 指令用于将逻辑运算结果存入栈存储器；MRD 指令用于读出栈存储器的结果；MPP 指令用于取出栈存储器结果并清除，见表 4-8。

表 4-8 MPS、MRD、MPP 指令

回路表示和可用软元件	程序步
MPS	1
MRD	1
MPP	1

使用一次 MPS 就将此刻的运算结果送入栈存储器的第一个存储单元，而将原来第一个存储单元的数据移到堆栈的下一个存储单元，如图 4-41 所示。

MRD 只用来读出堆栈存储器最上面一个存储单元的最新数据，此时栈存储器内的数据不移动。

使用 MPP 指令，最上面一个存储单元的数据被取出，这个数据就从栈存储器中被清除，

同时各数据向上一段移动。

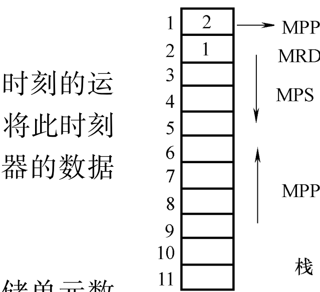


图 4-41　栈存储器示意图

1. MPS 指令

MPS 指令称为“进栈指令”。使用一次 MPS 指令将此时刻的运算结果送入栈存储器的第 1 单元，再使用一次 MPS 指令，将此时刻的运算结果送入栈存储器的第 1 个存储单元，而原栈存储器的数据依次下移一存储单元。该指令没有操作元件。

2. MRD 指令

MRD 指令称为“读栈指令”，它将栈存储器的第 1 存储单元数据（最后进栈的数据）读出且该数据继续保存在栈存储器的第一存储单元，栈存储器内的数据不发生移动。该指令没有操作元件。

3. MPP 指令

MPP 指令称为“出栈指令”，它将栈存储器第 1 单元数据读出，同时该数据消失，栈存储器内的数据依次上移一单元。该指令没有操作元件。

图 4-42 所示为 MPS、MRD、MPP 指令在梯形图中的表示。

图 4-43 所示为执行 MPS、MRD、MPP 指令时，栈存储器内的数据移动方向。

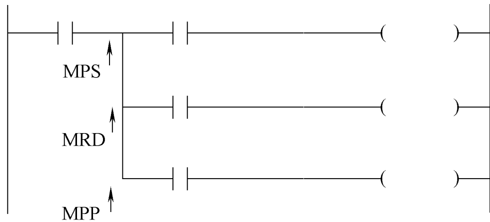


图 4-42　MPS、MRD、MPP 指令在梯形图中的表示

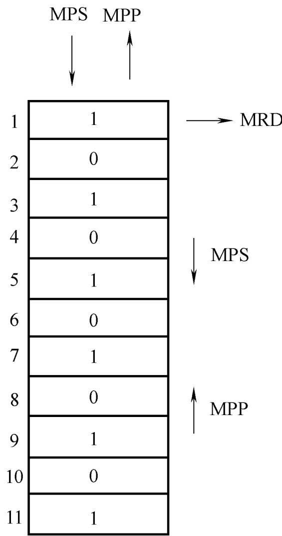


图 4-43　栈存储器

【例 4-15】（见图 4-44）：

解：这项指令是进行分支多重输出回路编程用的方便指令。利用 MPS 指令存储得出的运算中间结果，然后驱动 Y002。用 MRD 指令将该存储读出，再驱动输出 Y003，Y004，用 MPP 指令将存储数据出栈，再驱动 Y005。

【例 4-16】　将只使用一层栈存储器的梯形图转换为指令表，梯形图如图 4-45 所示。

解：指令表如下：

LD　X000

MPS

AND　X001

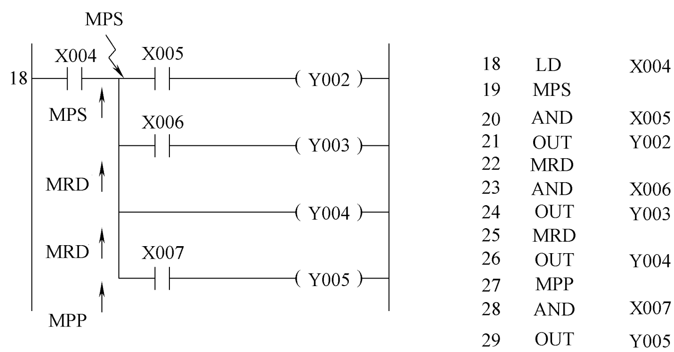


图 4-44　梯形图及指令表（例 4-15）

OUT　Y000
MRD
AND　X002
OUT　Y001
MRD
AND　X003
OUT　Y002
MPP
AND　X004
OUT　Y003

【例 4-17】　写出图 4-46 所示梯形图的指令表。

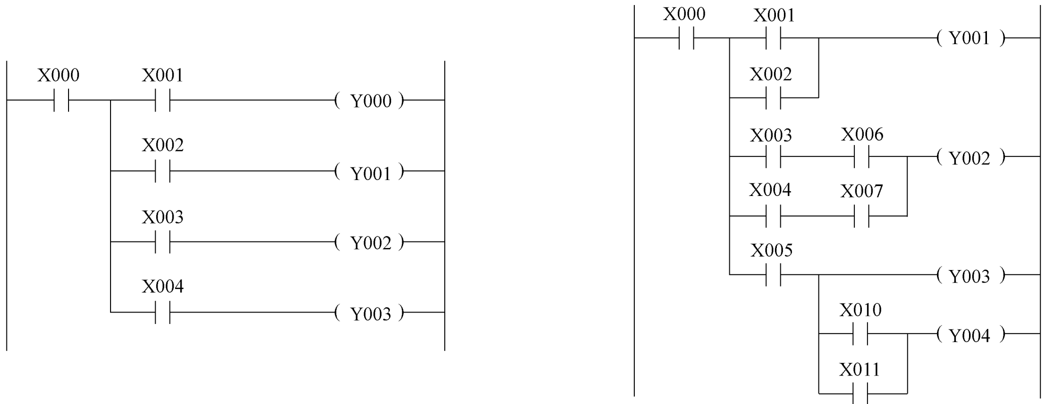


图 4-45　梯形图（例 4-16）

图 4-46　梯形图（例 4-17）

解：指令语句表如下：

0	LD	X000	11	ORB	
1	MPS		12	ANB	
2	LD	X001	13	OUT	Y002
3	OR	X002	14	MPP	

4	ANB		15	AND	X005
5	OUT	Y001	16	OUT	Y003
6	MRD		17	LD	X010
7	LD	X003	18	OR	X011
8	AND	X006	19	ANB	
9	LD	X004	20	OUT	Y004
10	AND	X007			

本例使用了一个存储单元，并用了 ANB、ORB 指令。

【例 4-18】 写出图 4-47 所示梯形图的指令表。

解：所示梯形图的指令表如下：

0	LD	X000	10	AND	M2
1	MPS		11	MPS	
2	AND	X001	12	AND	M3
3	MPS		13	OUT	Y003
4	AND	X003	14	MPP	
5	OUT	Y001	15	AND	M4
6	MPP		16	OUT	Y004
7	AND	M1			
8	OUT	Y002			
9	MPP				

本例为两个存储单元编程实例。

【例 4-19】 写出图 4-48 所示梯形图的指令表。

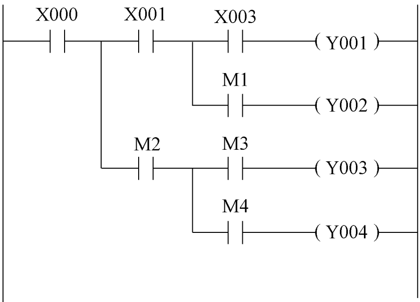


图 4-47　梯形图（例 4-18）

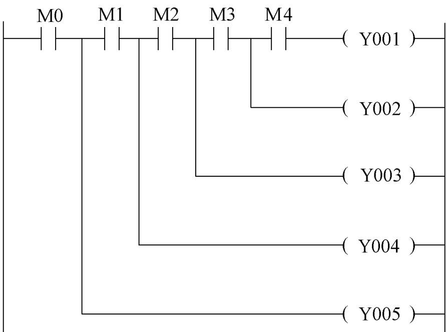


图 4-48　梯形图（例 4-19）

解：指令语句表如下：

0	LD	M0	6	AND	M3
1	MPS		7	MPS	
2	AND	M1	8	AND	M4
3	MPS		9	OUT	Y001
4	AND	M2	10	MPP	
5	AND	M2	11	OUT	Y002

12 MPP　　15 OUT　Y004
13 OUT Y003　16 MPP
14 MPP　　17 OUT　Y005

本例为 4 个存储单元实例。

【例 4-20】（见图 4-49）：

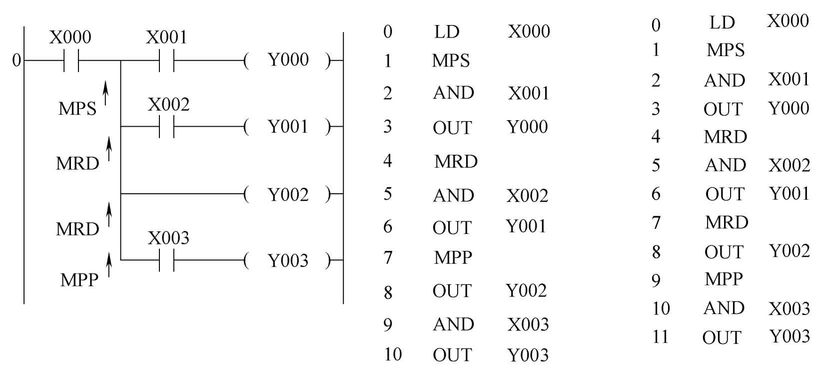


图 4-49　梯形图及指令表（例 4-20）

例题解释：

1）当公共条件 X000 闭合时，X001 闭合则 Y000 接通；X002 接通则 Y001 接通；Y002 接通；X003 接通则 Y003 接通。

2）上述程序举例中可以用两种不同的指令形式（见图 4-49）。

4. MPS、MRD、MPP 指令使用说明

1）堆栈指令没有目标元件。

2）MPS 和 MPP 指令必须配对使用。

3）由于栈存储单元只有 11 个，所以栈的层次最多为 11 层。

4）MPS、MRD、MPP 指令之后如果有其他触点串联，要用 AND 或 ANI 指令；MPS、MRD、MPP 指令之后若有触点组成的电路块串联，要用 ANB 指令；MPS、MRD、MPP 指令之后若无触点串联，而直接与线圈相连，应该用 OUT 指令。

5）MPS、MPP 指令可以重复使用，但是连续使用不能超过 11 次，且两者必须成对使用，缺一不可，MRD 指令有时可以不用。

6）MRD 指令可多次使用，但在打印、图形编程面板的画面显示等方面有 24 行限制。

7）最终输出电路以 MPP 指令代替 MRD 指令，读出存储并复位清零。

程序举例：

【例 4-21】　1 层堆栈，如图 4-50 所示。

1 层堆栈，ANB、ORB 指令并用，如图 4-51 所示。

【例 4-22】　2 层堆栈，如图 4-52 所示。

【例 4-23】　4 层堆栈，如图 4-53 所示。

上面编程例中，若使用纵接输出的形式，就可以不采用 MPS 指令了。

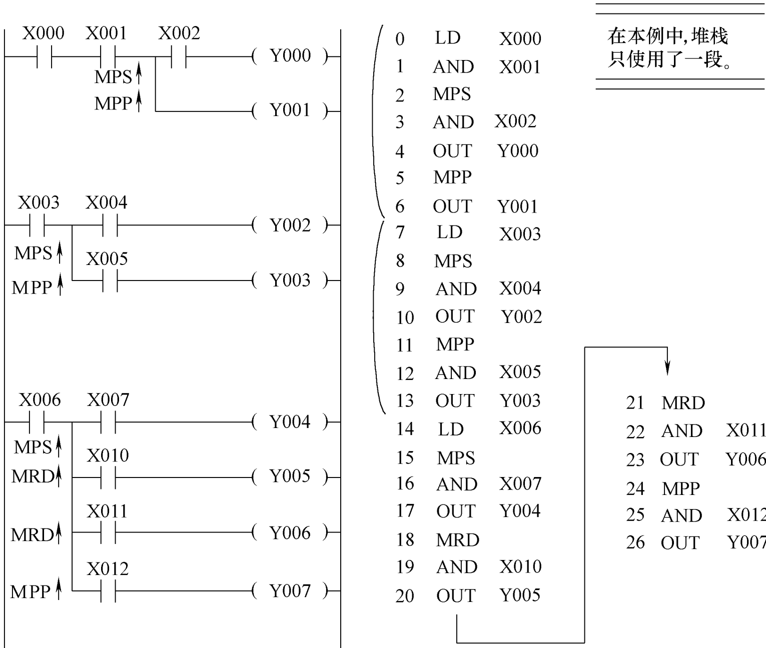


图 4-50　梯形图及指令表（1 层堆栈）

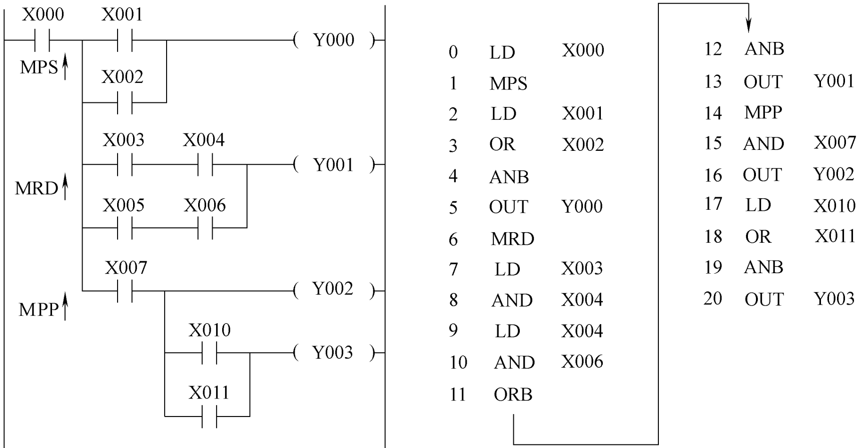


图 4-51　梯形图及指令表（ANB、ORB 指令并用）

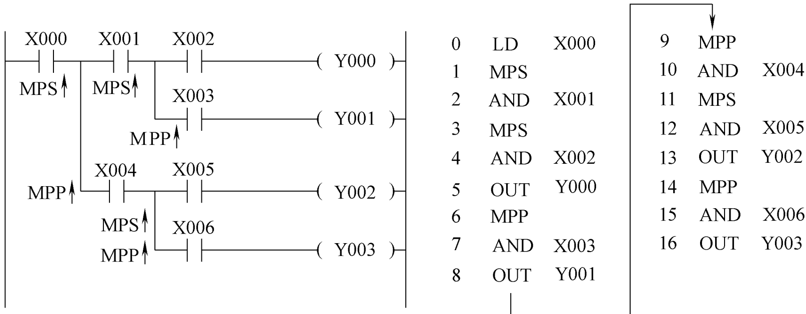


图 4-52　梯形图及指令表（例 4-22）

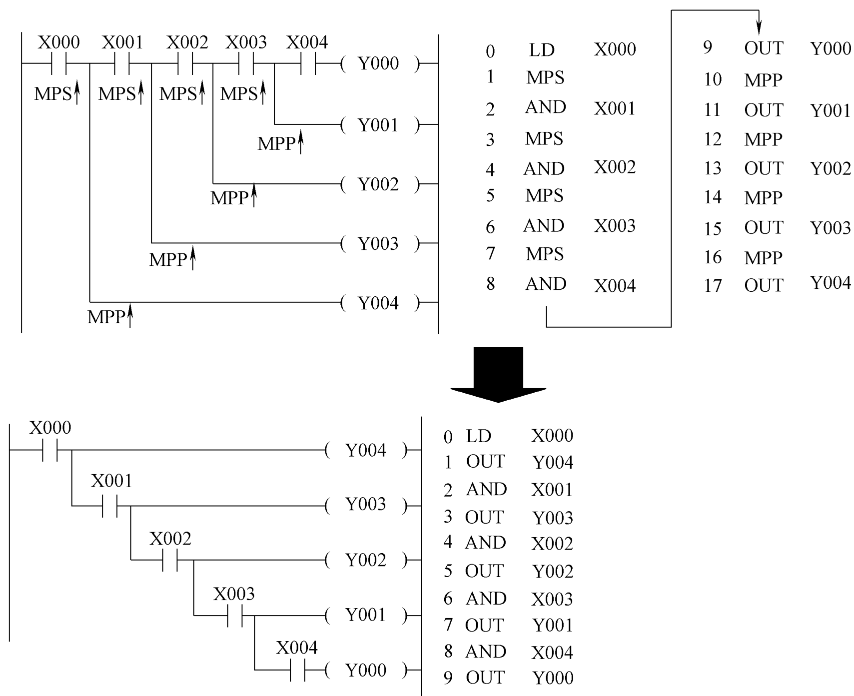


图 4-53　梯形图及指令表（例 4-23）

4.1.7　MC、MCR 指令

在编程时常会出现这样的情况，多个线圈受一个或多个触点控制，要是在每个线圈的控制电路中都要串入同样的触点，将占用多个存储单元，应用主控指令就可以解决这一问题，见表 4-9。

表 4-9　MC、MCR 指令

助记符、名称	功能	回路表示和可用软元件	程序步
MC(主控)	公共串联触点的连接	[MC N Y.M] M 除特殊辅助继电器以外	3
MCR(主控复位)	公共串联触点的清除	[MCR N]	2

1. MC 指令

MC 指令称为“主控指令”，用于公共串联触点的连接，以表示主控电路块的开始。MC 指令只能用于输出继电器 Y 和辅助继电器 M（不包括特殊辅助继电器）。通过 MC 指令的操作元件 Y 或 M 的常开触点将左母线临时移到一个所需的位置，产生一个临时左母线，形成一个主控电路块。其操作元件为 N、Y 或 M（特殊辅助继电器除外）。N 为主控指令使用次数（N0 ~ N7），也称主控嵌套，一定要按从小到大的顺序使用。

2. MCR 指令

MCR 指令称为“主控复位指令”，用于表示主控电路块的结束。即取消临时左母线，将

临时左母线返回到原来的位置，结束主控电路块。其操作元件为 N。

MCR 指令的操作元件即主控指令使用次数 N，一定要与 MC 指令中使用的嵌套层数相一致。如果是多层嵌套，则主控返回时，一定要按从大到小的顺序返回。如果没有嵌套，则通常用 N0 来编程，N0 没有使用次数限制。

图 4-54 所示为 MC 与 MCR 指令的使用。

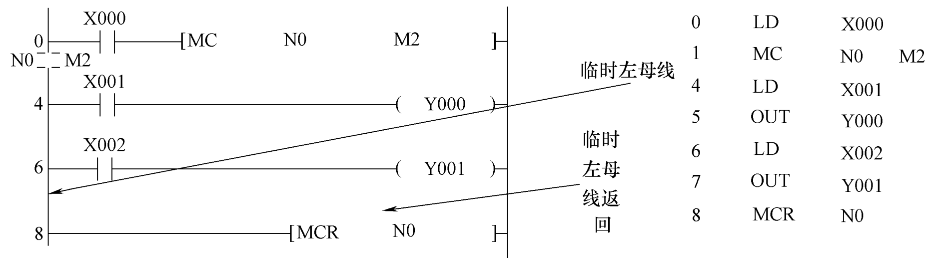


图 4-54　MC 与 MCR 指令的使用

MC 与 MCR 指令的使用见如下例子。

【例 4-24】　图 4-55a 所示为多路输出梯形图，转换成用主控指令编程的梯形图如图 4-55b 所示。图 4-55b 所示梯形图中，X001 接通，N0 层嵌套的主控指令执行，M0 线圈被驱动，触点动作，M0 就是主控触点。这时，如果 X002 接通，Y000 线圈被驱动；如果 X003 接通，Y001 线圈被驱动。即 X001 接通后，执行 MC 与 MCR 之间的所有程序。执行完后，执行后续程序。如果 X001 没有接通，则不执行 MC 与 MCR 之间的所有程序，直接执行后续程序。

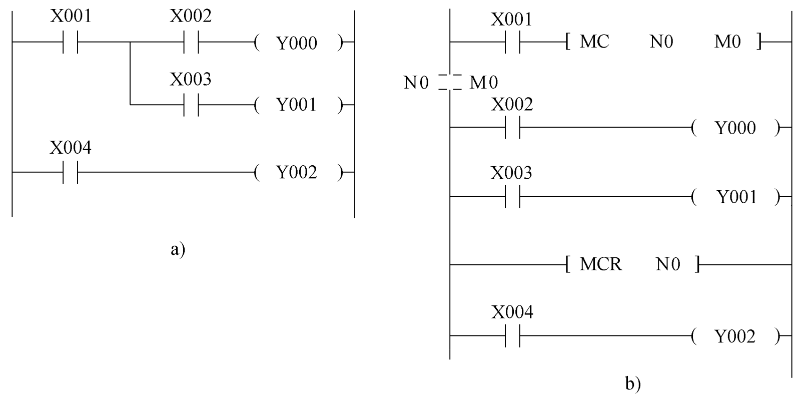


图 4-55　梯形图（例 4-24）

与图 4-55b 所示梯形图对应的指令表如下：

0	LD	X001	
1	MC	N0	M0
4	LD	X002	
5	OUT	Y000	
6	LD	X003	
7	OUT	Y001	
8	MCR	N0	

10　LD　X004

11　OUT　Y002

【例 4-25】 各梯形图之间转换如图 4-56 所示。

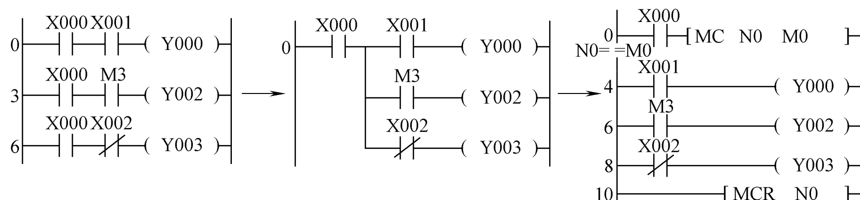


图 4-56　梯形图（例 4-25）

【例 4-26】 梯形图及指令表如图 4-57 所示。

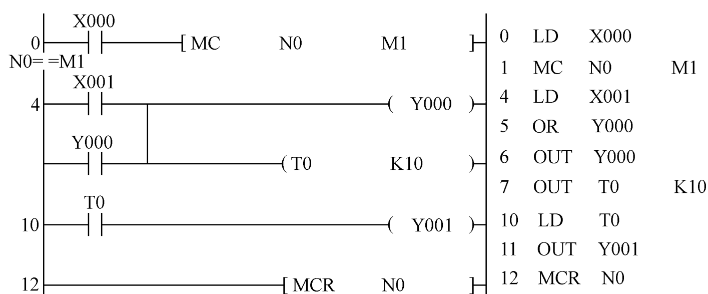


图 4-57　梯形图及指令表（例 4-26）

例题解释：

1） 当 X0 接通时，执行主控指令 MC 到 MCR 的程序；

2） MC 至 MCR 之间的程序只有在 X0 接通后才能执行。

3. 指令说明

1）MC 指令的操作元件 N、Y 或 M（特殊辅助继电器除外），MC 占 3 个程序步，MCR 占 2 个程序步。

2）主控触点在梯形图中与一般触点垂直。主控触点是与左母线相连的常开触点，是控制一组电路的总开关。与主控触点相连的触点必须用 LD 或 LDI 指令。

3）在一个 MC 指令区内若再使用 MC 指令称为嵌套。嵌套级数最多为 8 级，编号按 N0→N1→N2→N3→N4→N5→N6→N7 顺序增大，每级的返回用对应的 MCR 指令，从编号大的嵌套级开始复位。

4）在上述程序中，输入 X000 接通时，直接执行从 MC 到 MCR 之间的程序；如果 X000 输入为断开状态，则根据不同的情况形成不同的形式：

① 保持当前状态：积算定时器（T63）、计数器、SET/RST 指令驱动的软元件；

② 断开状态：非积算定时器、用 OUT 指令驱动的软元件。

5） 主控指令（MC）后，母线（LD、LDI）临时移到主控触点后，MCR 为其将临时母线返回原母线的位置的指令。

6）MC 指令后，必须用 MCR 指令使临时左母线返回原来位置。

7）MC/MCR 指令可以嵌套使用，即 MC 指令内可以再使用 MC 指令，但是必须使嵌套级编号从 N0 到 N7 顺序增加，顺序不能颠倒；而主控返回则嵌套级标号必须从大到小，即按 N7 到 N0 的顺序返回，不能颠倒，最后一定是 MCR N0 指令；

【例 4-27】 无嵌套，如图 4-58 所示。

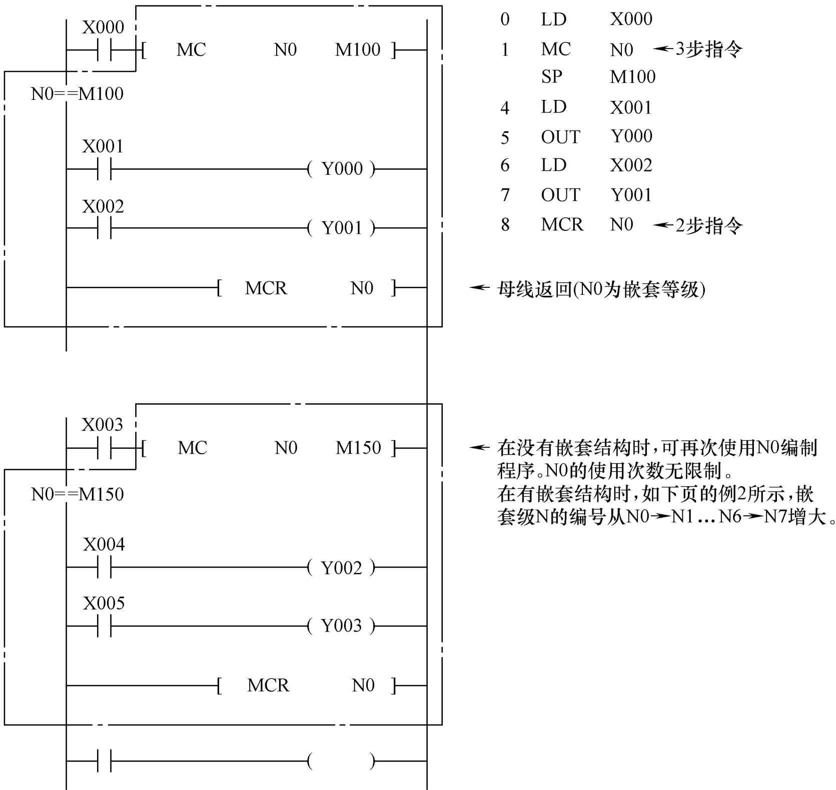


图 4-58　无嵌套梯形图（例 4-27）

上述程序为无嵌套程序，操作元件 N 编程，且 N 在 N0—N7 之间任意使用没有限制；有嵌套结构时，嵌套级 N 的地址号增序使用，即 N0—N7。

【例 4-28】 有嵌套一，如图 4-59 所示。

在 MC 指令内采用 MC 指令时，嵌套级 N 的编号按顺序增大：

N0→N1→N2→N3→N4→N5→N6→N7 顺序增大，每级的返回用对应的 MCR 指令，从编号大的嵌套级开始复位。即从大的嵌套级开始消除 N7→N6→N5→N4→N3→N2→N1→N0。

【例 4-29】 有嵌套二，如图 4-60 所示。

4.1.8　PLS、PLF 指令

PLS、PLF 指令为脉冲微分指令，脉冲微分指令主要作为信号变化的检测，即从断开到接通的上升沿和从接通到断开的下降沿信号的检测。如果条件满足，则被驱动的软元件产生一个扫描周期的脉冲信号，见表 4-10。

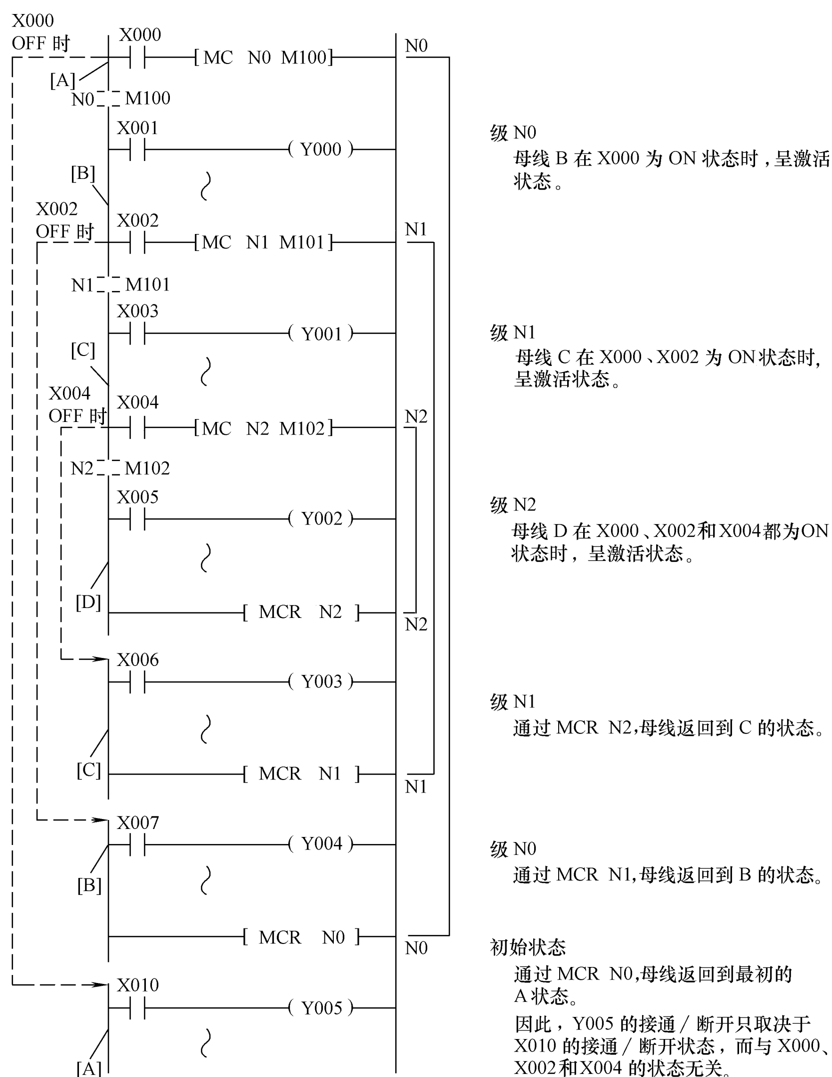


图 4-59　有嵌套一的梯形图（例 4-28）

表 4-10　PLS、PLF 指令

助记符、名称	功能	回路表示和可用软元件	程序步
PLS（上升沿脉冲微分）	上升沿微分输出	[PLS Y、M] 除特殊的M以外	1
PLF（下降沿脉冲微分）	下降沿微分输出	[PLF Y、M] 除特殊的M以外	1

1. PLS 指令

PLS 指令称为“上升沿脉冲微分”指令，用于在脉冲信号的上升沿时，其操作元件的线圈得电一个扫描周期，产生一个扫描周期的脉冲输出，其操作元件为 Y、M（特殊辅助继电器除外）。图 4-61 所示为 PLS 指令在梯形图中的表示。

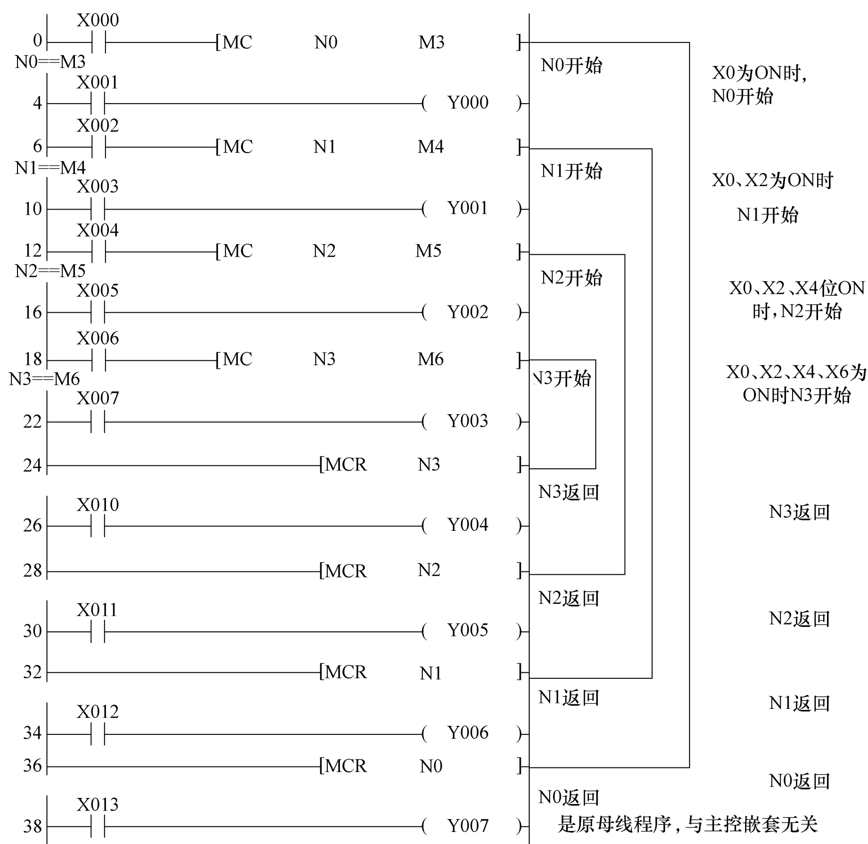


图 4-60　有嵌套二梯形图（例 4-29）

2. PLF 指令

PLF 指令称为“下降沿脉冲微分指令”。用于在脉冲信号的下降沿时，其操作元件的线圈得电一个扫描周期，产生一个扫描周期的脉冲输出。操作元件为 Y、M（特殊辅助继电器除外）。图 4-62 所示为 PLF 指令在梯形图中的表示。

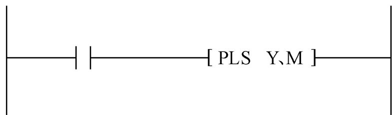


图 4-61　PLS 指令在梯形图中的表示

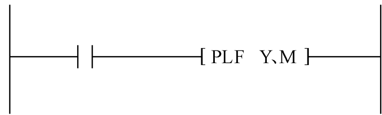


图 4-62　PLF 指令在梯形图中的表示

PLS、PLF 指令应用如图 4-63 所示。

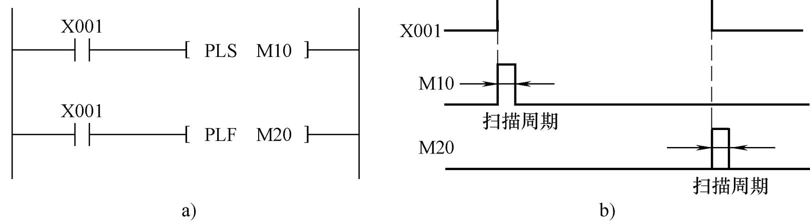


图 4-63　PLS、PLF 指令应用梯形图及时序图

指令表如下：
0　LD　X001
1　PLS　M10
2　LD　X001
3　PLF　M20

【例 4-30】（见图 4-64）

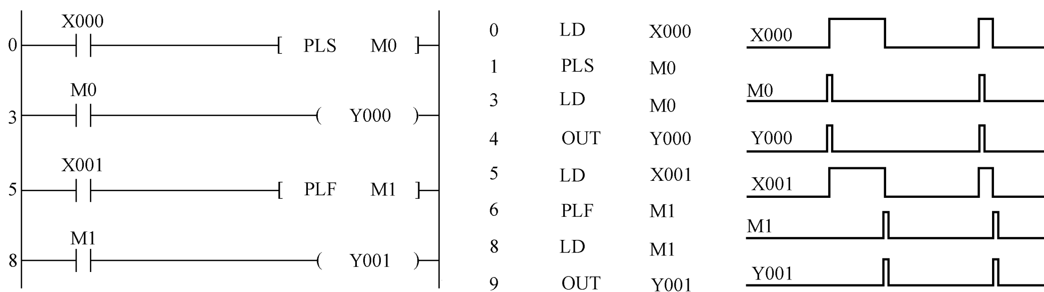


图 4-64　梯形图、指令表及时序图（例 4-30）

例题解释：

1）当检测到 X000 的上升沿时，PLS 指令的操作软元件 M0 产生一个扫描周期的脉冲，Y000 接通一个扫描周期。

2）当检测到 X001 的上升沿时，PLF 指令的操作软元件 M1 产生一个扫描周期的脉冲，Y001 接通一个扫描周期。

3. PLS、PLF 指令说明

1）PLS、PLF 指令的目标元件为 Y 和 M，特殊辅助继电器不能作为 PLS、PLF 指令的操作软元件。

2）使用 PLS 指令时，仅在驱动输入为 ON 后的一个扫描周期内目标元件为 ON；使用 PLF 指令时只是利用输入信号的下降沿驱动，其他与 PLS 指令相同，如图 4-65 所示。

4.1.9　SET、RST 指令

在前面的叙述中已经了解到了自锁，自锁可以使动作保持。下面将要介绍的指令也可以做到自锁控制，并且它们也是在 PLC 控制系统中经常用到的一个比较方便的指令。

在 PLC 控制系统中，许多情况需要自锁，利用 SET 和 RST 指令便可以方便地进行自锁和解锁控制。

1. SET 指令

SET 指令称为“置位指令”。它的功能为驱动线圈输出，使动作保持，具有自锁功能。其操作元件为 Y、M、S。Y、M 为 1 个程序步，S、特殊辅助继电器 M 为 2 步。

图 4-66 所示为 SET 指令在梯形图中的表示。

2. RST 指令

RST 指令称为“复位指令”。它的功能为清除保持的动作，以及寄存器的清零。其操作元件为 Y、M、S、T、C、D、V、Z。Y、M 为 1 个程序步，S、特殊辅助继电器 M、T、C 为 2 步，D、V、Z、特殊数据寄存器 D 为 3 步。

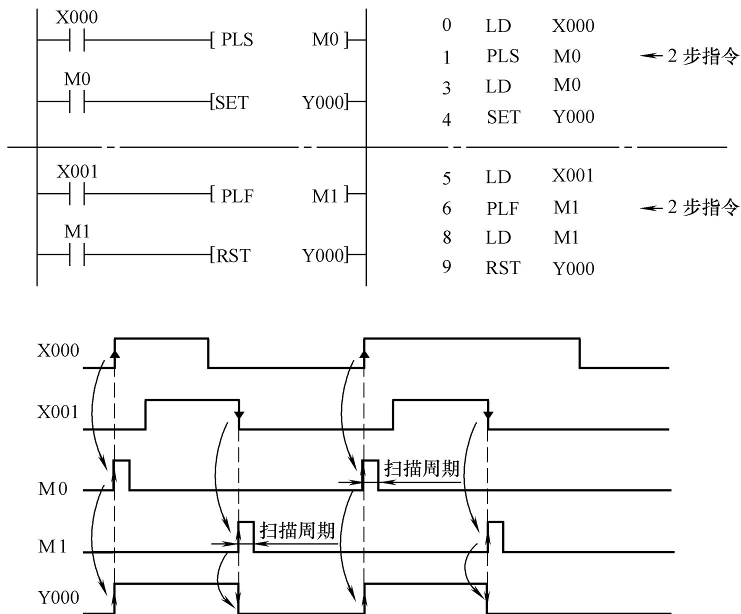


图 4-65　梯形图、指令表及时序图

图 4-67 所示为 RST 指令在梯形图中的表示。

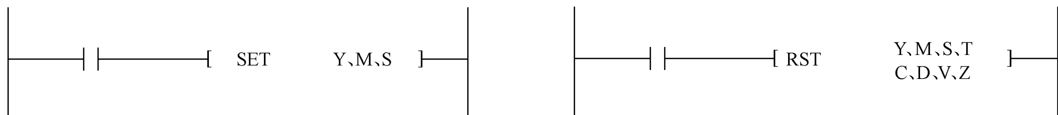


图 4-66　SET 指令在梯形图中的表示　　图 4-67　RST 指令在梯形图中的表示

图 4-68 所示为 SET、RST 指令的使用。

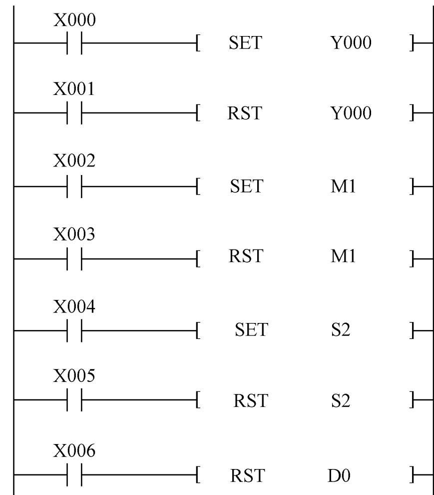


图 4-68　SET、RST 指令的使用

【例 4-31】　写出如图 4-69a 所示梯形图的时序图和语句表。

0　LD　X001

1　SET　Y001

2　LD　X002

3　RST　Y001

例题解释：

1）当 X001 接通时，Y001 接通并自保持接通；

2）当 X002 接通时，Y001 清除保持。

3. SET、RST 指令使用说明

1）用 SET 指令使软元件接通后，必须要用 RST 指令才能使其断开。

2）如果两者对同一软元件操作的执行条件同时满足，则清零操作优先。

3）可以使用 RST 指令对数据寄存器 D、变址寄存器 V、Z 的内容进行清零；可以使用

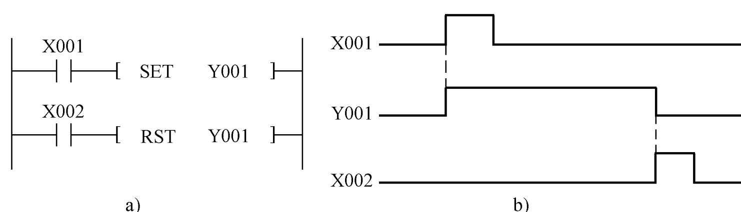


图 4-69 梯形图和时序图（例 4-31）
a）梯形图 b）时序图

RST 指令对积算定时器 T246 ~ T255 的当前值及触点进行复位。

4）SET 指令的目标元件为 Y、M、S，RST 指令的目标元件为 Y、M、S、T、C、D、V、Z。RST 指令常被用来对 D、Z、V 的内容清零，还用来复位积算定时器和计数器。

5）对于同一目标元件，SET、RST 可多次使用，顺序也可随意，但最后执行者有效。

6）在第 3 章中介绍过编程元件计数器，计数器的当前值达到设定值后输出触点动作。即使被计数信号增加，其输出触点依然动作。要想使当前值和输出触点复位，就要使用 RST 指令完成。

4.1.10 INV 指令

INV 指令是将即将执行 INV 指令之前的运算结果反转的指令，无操作软元件。

执行该指令后将原来的运算结果取反。使用时应注意 INV 指令不能像指令表的 LD、LDI、LDP、LDF 那样与母线连接，也不能像指令表中的 OR、ORI、ORP、ORF 指令那样单独并联使用。INV 指令见表 4-11。

表 4-11 INV 指令

助记符、名称	功能	回路表示和可用软元件	程序步
INV(取反)	运算结果的反转	软元件：无	1

图 4-70 所示为 INV 指令在梯形图中的表示。

图 4-72 所示梯形图指令语句表如下：

0 LD X001
1 AND X002
2 INV
3 OUT Y000

图 4-72 中，X001 和 X002 同时 ON，Y000 为 OFF；X001 和 X002 只要有一个为 OFF，Y000 就为 ON。

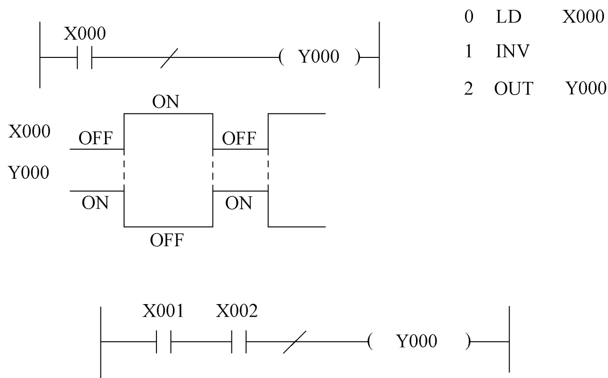


图 4-70 INV 指令在梯形图中的表示

【例 4-32】（见图 4-71）：

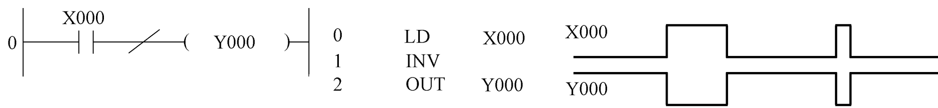


图 4-71　梯形图及时序图（例 4-32）

例题解释：X000 接通，Y000 断开；X000 断开，Y000 接通。

指令说明：

1）编写 INV 指令时需要前面有输入量，INV 指令不能直接与母线相连接，也不能如 OR、ORI、ORP、ORF 指令那么单独并联使用，如图 4-72 所示。

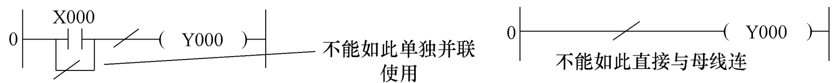


图 4-72　INV 指令的使用（一）

2）可以多次使用，只是结果只有两个，要么通要么断，如图 4-73 所示。

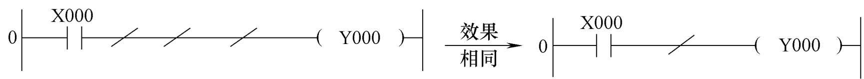


图 4-73　INV 指令的使用（二）

3）INV 指令只对其前面的逻辑关系取反，如图 4-74 所示。

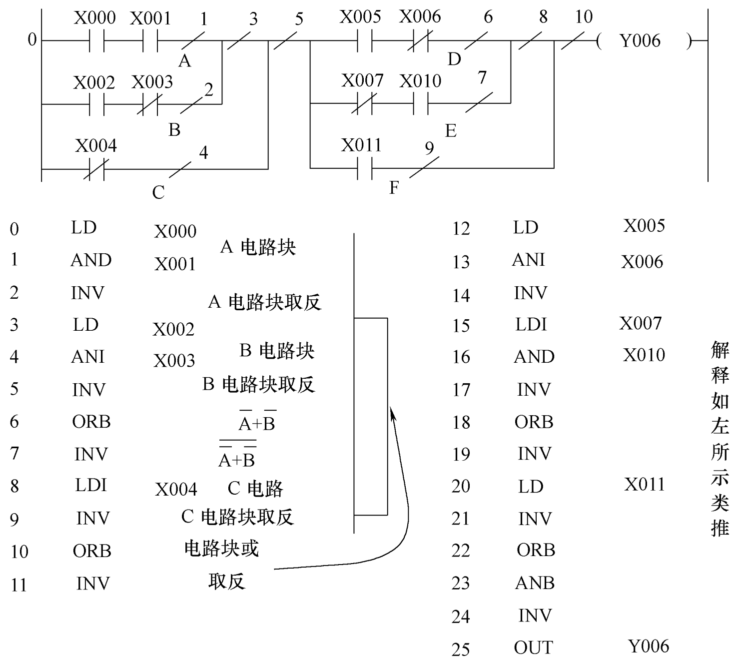


图 4-74　INV 指令的使用（三）

如图 4-74 所示，在包含 ORB、ANB 指令的复杂电路中使用 INV 指令编程时，INV 指令的取反动作如指令表中所示，将各个电路块开始处的 LD、LDI、LDP、LDF 指令以后的逻辑运算结果作为 INV 运算的对象。

4.1.11 NOP、END 指令

1. NOP 指令

NOP 指令称为“空操作指令”，无任何操作元件。虽不执行操作，但占一个程序步。执行 NOP 时并不做任何事，有时可用 NOP 指令短接某些触点或用 NOP 指令将不要的指令覆盖。当 PLC 执行了清除用户存储器操作后，用户存储器的内容全部变为空操作指令。

功能：其主要功能是在调试程序时，用其取代一些不必要的指令，即删除由这些指令构成的程序；另外在程序中使用 NOP 指令，可延长扫描周期。若在普通指令与指令之间加入空操作指令，可编程序控制器可继续工作，就如没有加入 NOP 指令一样；若在程序执行过程中加入空操作指令，则在修改或追加程序时可减少步序号的变化。

NOP 指令见表 4-12。

表 4-12　NOP 指令

助记符、名称	功能	回路表示和可用软元件	程序步
NOP(空操作)	无动作	没有回路表示　软元件:无	1

NOP 指令通常用于以下几个方面：指定某些步序内容为空，留空待用；短路某些触点或电路，如图 4-75a、4-75b 所示；切断某些电路，如图 4-75c、4-75d 所示；变换先前的电路，如图 4-75e 所示。

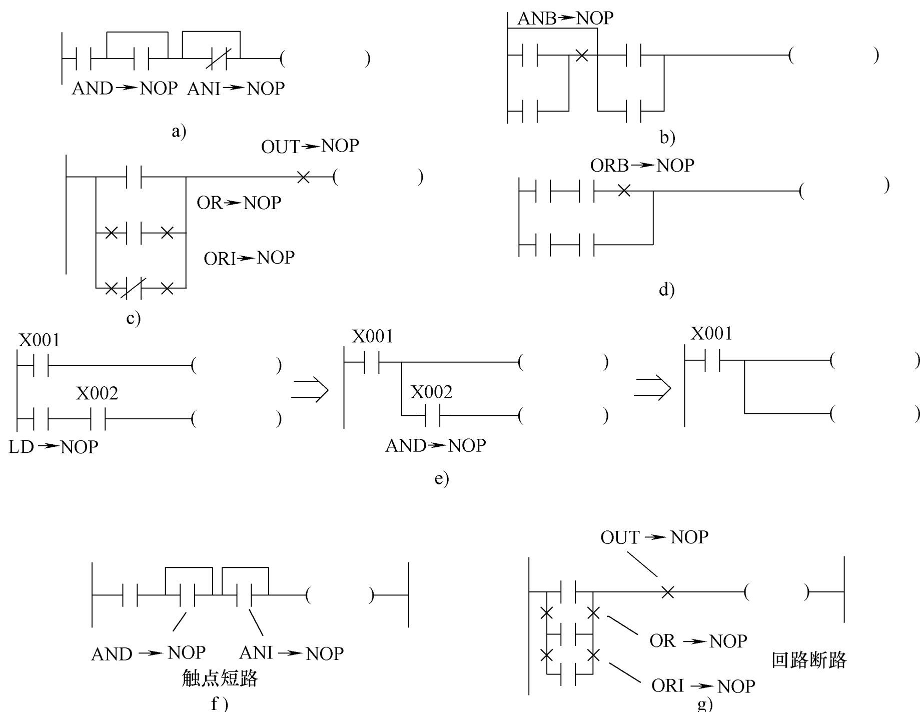


图 4-75　NOP 指令的使用

2. END 指令

END 指令称为“结束指令”，无操作元件，表示程序结束。若程序的最后不写 END 指令，则 PLC 不管实际用户程序多长，都从用户程序存储器的第一步执行到最后一步；若有 END 指令，当扫描到 END 时，则结束执行程序，这样可以缩短扫描周期。在程序调试时，可在程序中插入若干 END 指令，将程序划分为若干段，在确定前面程序段无误后，依次删除 END 指令，直至调试结束。程序中执行到 END 指令后，END 指令后面的指令不予执行，直接返回到 0 步。END 指令见表 4-13，END 指令的使用说明如图 4-76 所示。

表 4-13　END 指令

助记符、名称	功能	回路表示和可用软元件	程序步
END(结束)	输入输出处理以及返回到 0 步	─[END]─ 软元件：无	1

图 4-77 所示为 END 指令在梯形图中的表示。

在调试程序时，可以插入 END 指令，使得程序分段，提高程序调试速度。

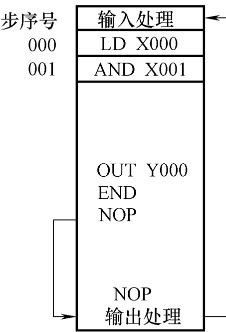


图 4-76　END 指令的使用说明

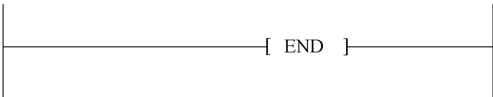


图 4-77　END 指令在梯形图中的表示

指令说明：

1）在将程序全部清除时，存储器内指令全部成为 NOP 指令；

2）若将已经写入的指令换成 NOP 指令，则电路会发生变化；

3）PLC 反复进行输入处理、程序执行、输出处理，若在程序的最后写入 END 指令，则 END 指令以后的其余程序步不再执行，而直接进行输出处理；

4）在程序中无 END 指令时，PLC 处理完其全部的程序步；

5）在调试期间，在各程序段插入 END 指令，可依次调试各程序段程序的动作功能，确认后再删除各 END 指令；

6）PLC 在 RUN 开始时首次执行是从 END 指令开始的；

7）执行 END 指令时，也刷新监视定时器，检测扫描周期是否过长。

4.2　FX 系列 PLC 的基本指令汇总

FX_{2N}、FX_{2NC}系列 PLC 的基本顺控指令见表 4-14。

表 4-14　基本指令一览表

助记符、名称	功能	回路表示和可用软元件	助记符、名称	功能	回路表示和可用软元件
LD（取）	运算开始动合触点	X、Y、M、S、T、C	[OR] 或	并联 a 触点	X、Y、M、S、T、C
LDI（取反转）	运算开始动断触点	X、Y、M、S、T、C	[ORI] 或反转	并联 b 触点	X、Y、M、S、T、C
LDP（取脉冲上升沿）	上升沿检出运算开始	X、Y、M、S、T、C	[ORP] 或脉上升沿	脉冲上升沿检出并联连接	X、Y、M、S、T、C
LDF（取脉冲下降沿）	下降沿检出运算开始	X、Y、M、S、T、C	[ORF] 或脉冲下降沿	脉冲下降沿检出并联连接	X、Y、M、S、T、C
AND（与）	串联动合触点	X、Y、M、S、T、C	[ANB] 回路块与	并联回路块的串联连接	
ANI（与反转）	串联动断触点	X、Y、M、S、T、C	[ORB] 回路块或	串联回路块的并联连接	
OUT（输出）	线圈驱动指令	Y、M、S、T、C	[MCR] 主控复位	公共串联点的清除指令	MCR　N
SET（置位）	线圈接通保持指令	SET　Y、M、S	[MPS] 进栈	运算存储	MPS　MRD　MPP
RST（复位）	线圈接通清除指令	RST　Y、M、S、T、C、D	[MRD] 读栈	存储读出	
PLS（脉冲）	上升沿检出指令	PLS　Y、M	[MPP] 出栈	存储读出与复位	
PLF（下降沿脉冲）	下降沿检出指令	PLF　Y、M	[INV] 反转	运算结果的反转	INV
MC（主控）	公共串联点的连接线圈指令	MC　N　Y、M	[NOP] 空操作	无动作	消除流程程序或空格用
[ANDP] 与脉冲上升沿	上升沿检出串联连接	X、Y、M、S、T、C	[END] 结束	顺控程序结束	顺控顺序结束回到 0 步
[ANDF] 与脉冲下降沿	下降沿检出串联连接	X、Y、M、S、T、C			

4.3　基本逻辑指令典型应用程序

4.3.1　产生脉冲的程序

1. 产生单脉冲的程序

在 PLC 程序设计时经常用到单个脉冲，进行一些软继电器的复位、起动、停止等。最常用的产生单脉冲的程序就是使用 PLS 和 PLF 指令完成，利用这两条指令可以得到宽度为一个扫描周期的脉冲。图 4-78 和图 4-79 所示为得到单个脉冲的梯形图和时序图。

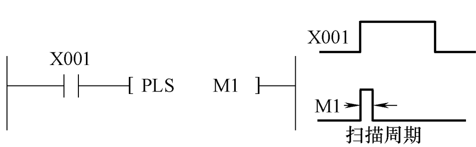


图 4-78　PLS 指令产生单脉冲

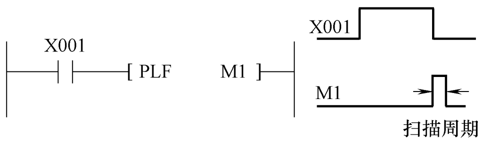


图 4-79　PLF 指令产生单脉冲

2. 产生固定脉宽连续脉冲的程序

在 PLC 程序设计中，经常用到连续的脉冲信号，如作为计数器的计数脉冲或其他用途。图 4-80 所示为得到连续脉冲信号的程序，脉冲宽度为一个扫描周期，且不可调整。注意，不可用输出继电器产生连续的脉冲信号，因为如果输出继电器为继电器输出型，硬件继电器的触点在高频率的接通断开运行中，短时间内就将损坏。

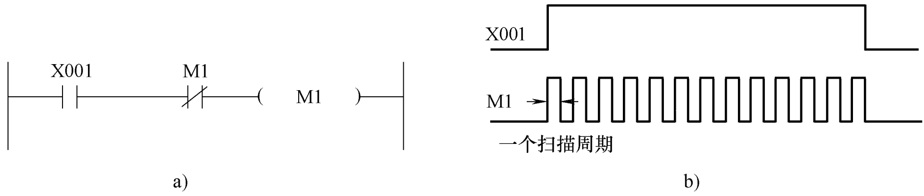


图 4-80　得到连续脉冲信号

3. 产生可调脉宽连续脉冲的程序

上述产生连续脉冲的程序其脉冲宽度不可调整。在 PLC 程序设计时，经常用到脉宽可调的连续脉冲，如故障报警指示灯等，要求有一定的点亮时间，这在 PLC 程序设计时可以利用定时器 T 来完成。图 4-81 所示为产生可调脉宽连续脉冲的程序。在这里 T0 为输出接通时间，T1 为输出关断时间。通过修改 T0 和 T1 的时间设定值，便可以改变 M1 的接通和关断时间。

4. 利用特殊辅助继电器产生的闪烁电路程序

在 PLC 程序设计中如果故障报警指示灯的闪烁时间定为点亮 1s 熄灭 1s，则可利用特殊辅助继电器 M8013 完成程序设计。M8013 是时钟为 1s 的特殊辅助继电器，可以利用它来驱动输出继电器，如图 4-82 所示。当故障检测信号 X001 有输入时，故障报警输出 Y001 便产生接通 1s、断开 1s 的连续输出信号。利用 M8011 ~ M8014 可以完成 10ms、100ms、1s、1min 的闪烁电路程序。

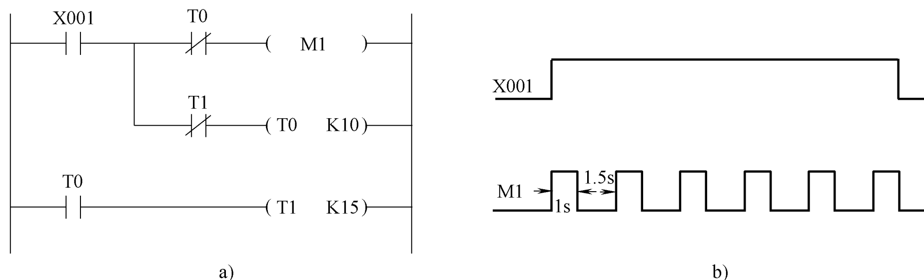


图 4-81　产生可调脉宽连续脉冲

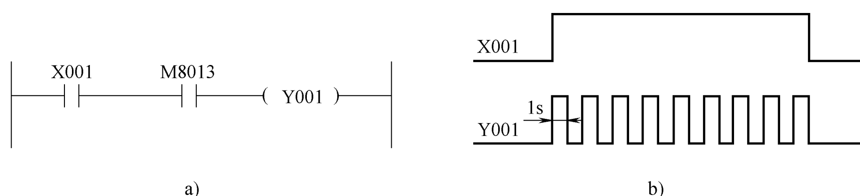


图 4-82　产生闪烁电路

5. 分频电路(见图 4-83)

6. 振荡电路(见图 4-84)

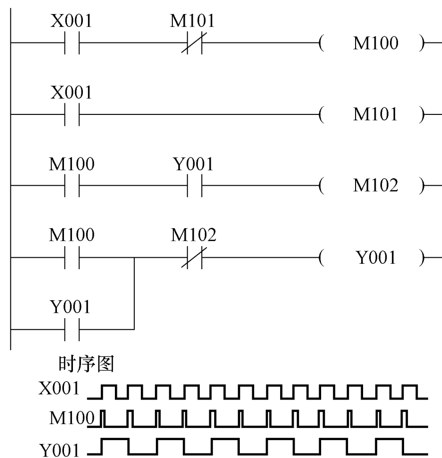


图 4-83　分频电路的梯形图和时序图

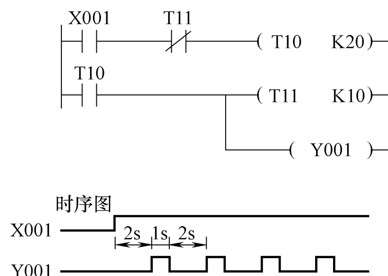


图 4-84　振荡电路的梯形图和时序图

4.3.2　典型的控制程序

1. 启动停止控制程序

图 4-85 所示梯形图是起动停止控制程序之一。当 X001 动合触点闭合时，辅助继电器 M1 线圈接通，其动合触点闭合自锁。当 X002 常闭触点断开，M1 线圈断开，其自锁动合触点断开。在这里 X001 就是启动信号，X002 为停止信号。图 4-86 所示为另一种启动停止控制程序，它利用了 SET/RST 指令，达到的目的是相同的。

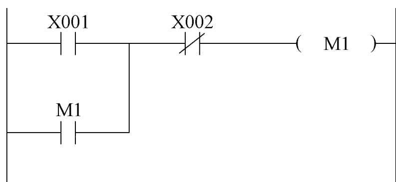


图 4-85　启动停止控制程序（一）

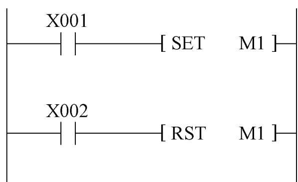


图 4-86　启动停止控制程序（二）

2. 联锁控制

图 4-87 所示为电动机正反转联锁控制的 I/O 接线图、梯形图。

3. 顺序启动控制电路

图 4-88 所示为三台电机顺序启动控制的 I/O 接线图、梯形图。

4. 时间控制程序

FX 系列 PLC 的定时器为接通延时定时器，线圈得电开始延时，时间达到设定值，其动合触点闭合，动断触点断开。当定时器线圈断电时，其触点瞬间复位。利用定时器的特点，便可以设计出多种时间控制程序，如接通延时控制程序（见图 4-89）和断开延时控制程序（见图 4-90）。图 4-89 中 X000 接通后，T0 开始延时，若 X000 接通时间不足时间设定值，T0 触点不动作。当 X000 一次接通时间达到 10s 后（此例中时间设定值为 K100），Y000 便有信号输出。所以称为接通延时控制程序。

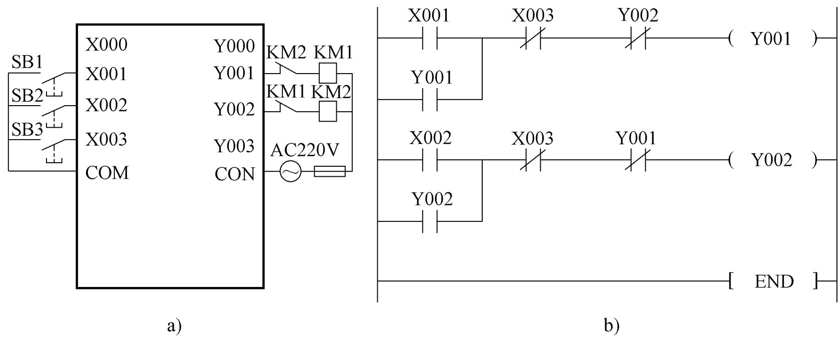


图 4-87　正反转联锁控制电路梯形图

a）I/O 接线图　b）梯形图

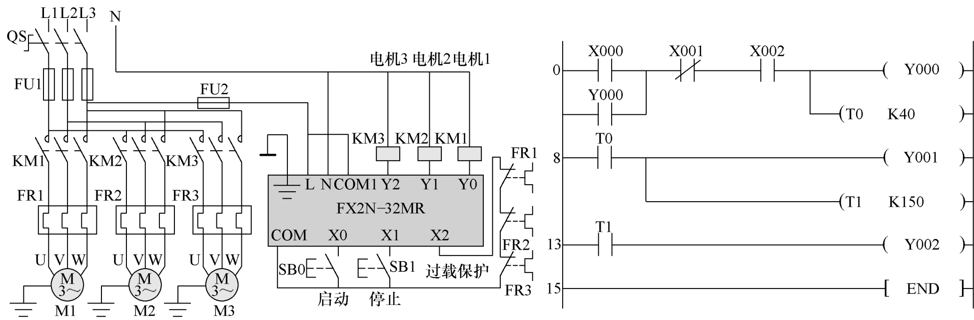


图 4-88　三台电机顺序启动控制的 I/O 接线图、梯形图

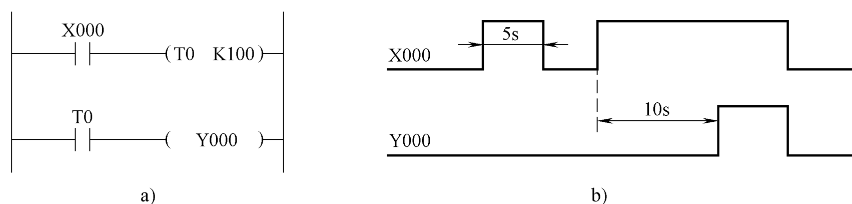


图 4-89　接通延时控制程序

图 4-90 所示程序，当 X001 接通后，Y000 便有输出；当 X001 断开 10s 后，Y000 才停止输出，所以称为断开延时控制程序。

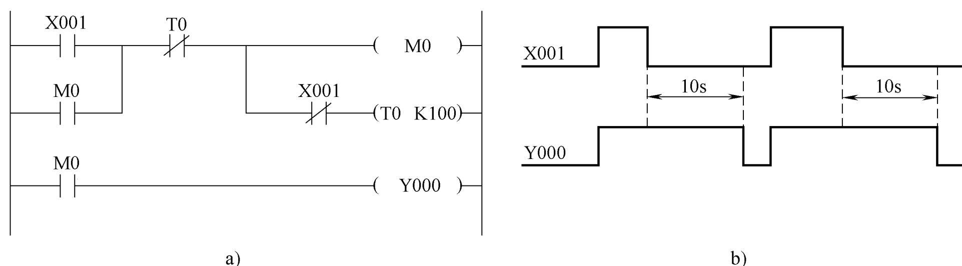


图 4-90　断开延时控制程序

图 4-91 所示为延时断开定时器梯形图和时序图。

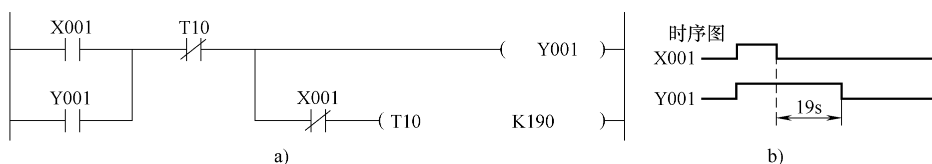


图 4-91　延时断开定时器梯形图和时序图

5. 定时器串级使用控制程序

在 PLC 程序设计中经常用到较长时间延时的控制程序，而定时器的时间设定值范围是固定的，达不到要求，这时可以使用两个或多个定时器串级使用以扩展延时范围。

图 4-92 所示为定时器扩展方法一，图 4-93 所示为定时器扩展方法二。

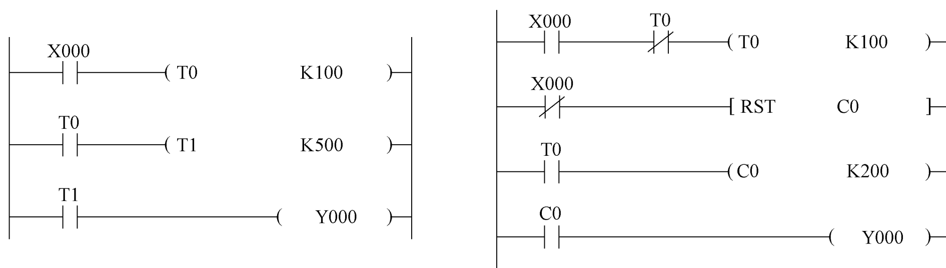


图 4-92　定时器扩展方法一　　图 4-93　定时器扩展方法二

图 4-94 所示程序为使用两个定时器串联，达到 1h 延时的控制程序。当 X000 接通后，Y000 便有输出，这时 T0 开始延时，当 T0 延时达到 1800s（30min）后，启动 T1 开始延时。

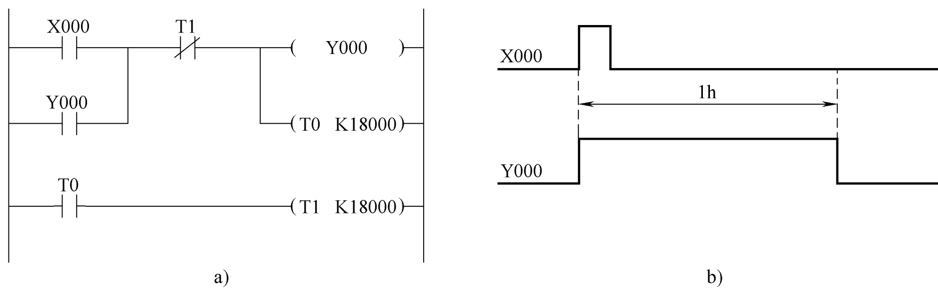


图 4-94　定时器串级使用控制程序

当 T1 延时达到 1800s（30min）后，停止 Y000 输出。这样，在 X000 启动后 Y000 开始输出，1h 后 Y000 停止输出。

定时器串级使用时，其总的定时时间为各定时器时间常数设定值之和。如果用 N 个定时器进行串级使用，其最长的定时时间为 $3276.7 \times N$ 秒。

6. 采用计数器实现延时的控制程序

使用计数器实现定时功能，需要使用时钟脉冲作为计数器的输入信号，而时钟脉冲可以由 PLC 内部的特殊辅助继电器产生，如 M8011、M8012、M8013、M8014 等。这些特殊辅助继电器分别为 10ms、100ms、1s、1min 时钟脉冲，也可以使用连续脉冲的控制程序产生。图 4-95 所示为采用计数器实现延时的控制程序。

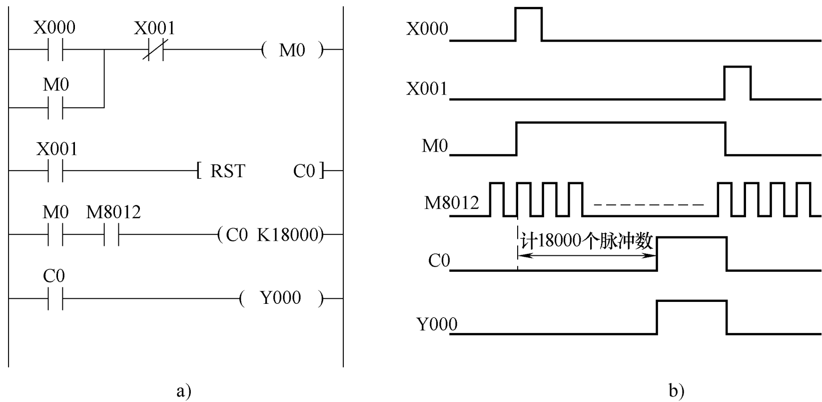


图 4-95　采用计数器实现延时的控制程序

图 4-95 所示控制程序运行过程如下：当起动信号 X000 闭合时，M0 动作并自锁，C0 开始对 M8012 产生的时钟脉冲进行计数。当计数值达到设定值 18000 后，C0 动作，其动合触点闭合，Y000 开始有输出。当停止信号 X001 闭合时，使得 C0 复位，并使 M0 解锁，Y000 停止输出。M8012 为 100ms 的时钟脉冲，从起动信号 X000 闭合到产生 Y000 的延时时间为 $18000 \times 0.1\text{s} = 1800\text{s} = 30\text{min}$。使用 M8012 延时时间最大误差为 0.1s。要想改变延时时间，可以改变设定值，要想提高延时精度可以使用周期更短的时钟脉冲。

4.4　基本逻辑指令应用实例

下面介绍一些常用的基本控制实例。

4.4.1 点动定时器

点动定时器功能为每次输入 X000 接通时，Y000 输出一个脉宽为定长的脉冲，脉宽由定时器 T0 设定值设定。它的时序图如图 4-96 所示。

根据时序图就可画出相应的梯形图，如图 4-97 所示。

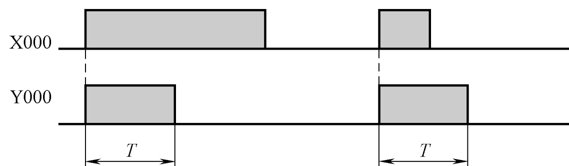


图 4-96 时序图

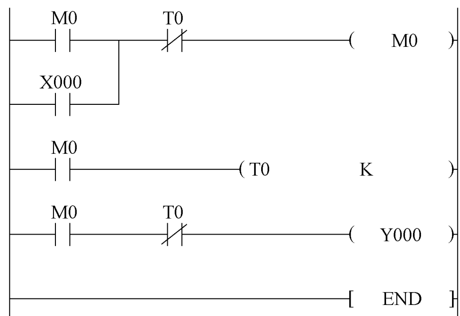


图 4-97 梯形图（一）

运用定时器还可构成振荡电路，如根据下面的时序图，可用两个定时器 T1、T2 构成振荡电路，其梯形图如图 4-98 所示。

4.4.2 锅炉点火和熄火控制

控制要求为：点火过程为先启动引风，5min 后启动鼓风，2min 后点火燃烧；熄火过程为先熄灭火焰，2min 后停止鼓风，5min 后停止引风。

1. PLC I/O 点的确定与分配（见表 4-15）

表 4-15 PLC I/O 点的确定与分配表

输入		输出		
点火信号	X000	控制引风	KM1	Y000
熄火信号	X001	控制鼓风	KM2	Y001
		控制点火开关	KM3	Y002

2. PLC 接线图（见图 4-99）

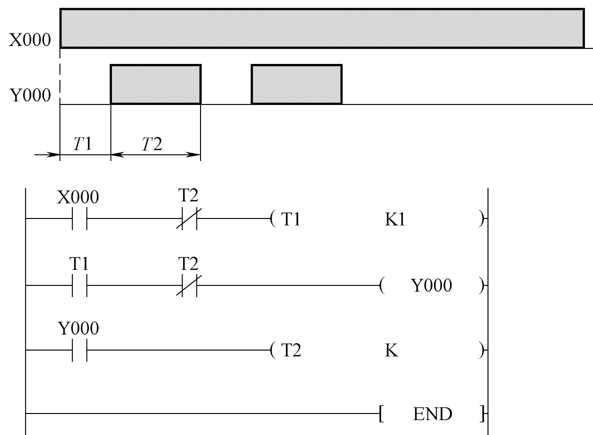


图 4-98 梯形图（二）

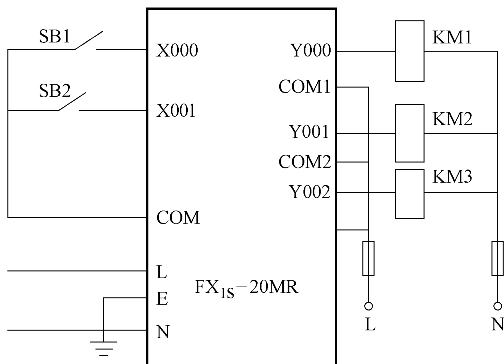


图 4-99 PLC 接线图

3. 控制程序编写（见图 4-100）

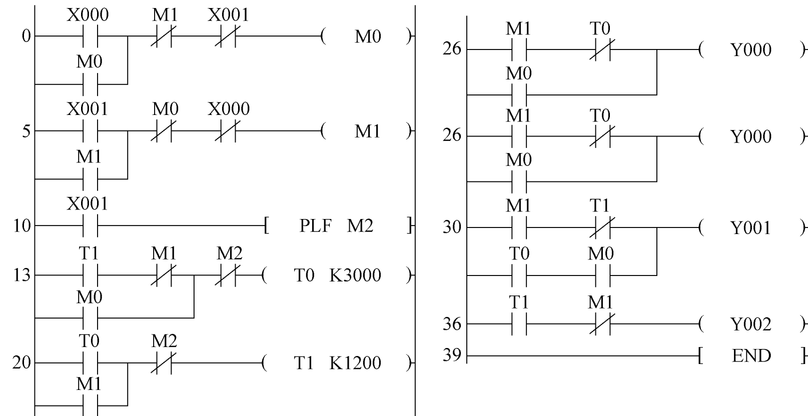


图 4-100　梯形图程序

4.4.3　交通信号灯控制

十字路口是通过交通灯的控制来维持交通秩序的。图 4-101 所示是十字路口交通信号灯示意图。信号灯的动作受开关总体控制，按一下启动按钮，信号灯系统开始工作，并周而复始地循环动作；按一下停止按钮，所有信号灯都熄灭。信号灯控制的时序图如图 4-102 所示。通过分析得到信号灯的控制要求，见表 4-16。

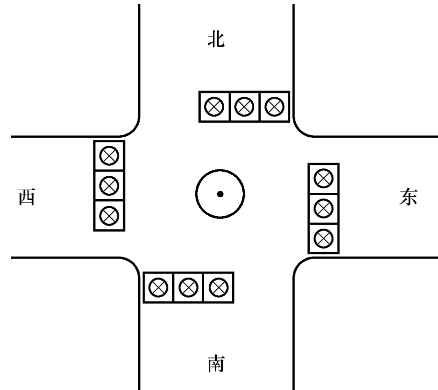


图 4-101　交通信号灯示意图

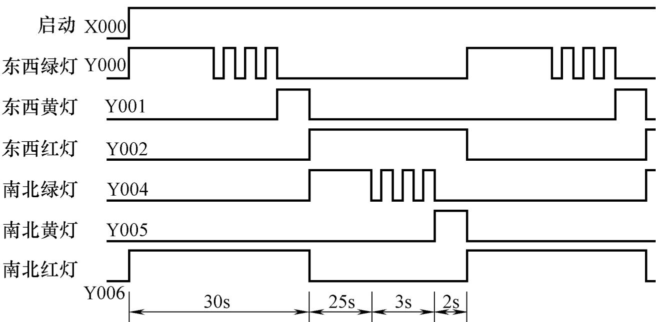


图 4-102　交通信号灯控制的时序图

表 4-16　交通信号灯控制要求

东西	信号	绿灯亮	绿灯闪	黄灯亮	红灯亮	
	时间/s	25	3	2	30	
南北	信号	红灯亮			绿灯亮	绿灯闪	黄灯亮
	时间/s	30			25	3	2

1. 硬件及外部电路

根据信号灯的控制要求，所用的器件有：启动按钮 SB1、停止按钮 SB2、红黄绿色信号灯各 4 只。I/O 端口接线如图 4-103 所示，由图可见，启动按钮 SB1 接于输入继电器 X000

端，停止按钮 SB2 接于输入继电器 X001 端，东西方向的绿灯接于输出继电器 Y000 端，东西方向黄灯接于输入继电器 Y001 端，东西方向的红灯接于输出继电器 Y002 端，南北方向绿灯接于输出继电器 Y004 端，南北方向的黄灯接于输出继电器 Y005 端，南北方向红灯接于输出继电器 Y006 端。将输出端的 COM1 及 COM2 用导线相连，输出端为交流 220V 电源。如果信号灯的功率较大，一个输出继电器不能带动两只信号灯，则可以采用一个输出点驱动一只信号灯，也可以采用输出继电器先带动中间继电器，再由中间继电器驱动信号灯。

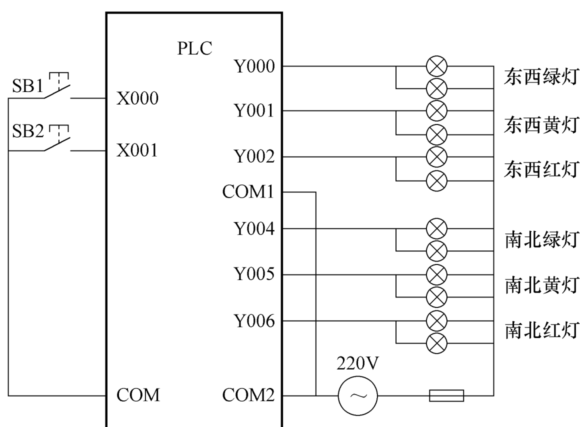


图 4-103　I/O 端口接线图

2. 软件设计

灯亮采用编程软件定时器实现，灯闪采用由定时器组成的脉冲发生器实现。现在来分析一下由 T10 及 T11 组成脉冲发生器的梯形图，如图4-105所示。

由图 4-104 可知，当 M100 闭合时，T10 得电。延时 0.5s 后，T10 触点闭合，定时器 T11 得电。延时 0.5s 后，其动断触点 T11 断开，T10 线圈断电，其触点 T10 断开，而定时器 T10 再次得电。0.5s 后，T10 再次闭合…。如此周而复始，即可得到 T10 触点的工作波形如图 4-105 所示。

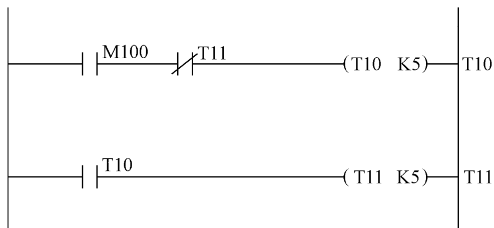


图 4-104　周期为 1s 的脉冲发生器

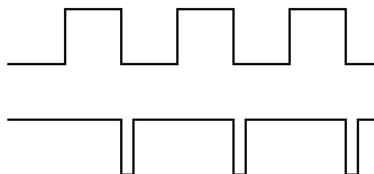


图 4-105　T10 触点的脉冲波形

图 4-106 所示为用基本逻辑指令编制的交通信号灯控制的梯形图。工作时，PLC 处于运行状态，按动启动按钮 SB1，则辅助继电器 M10 得电并自锁。由梯形图可知，首先接通输出继电器 Y006 及 Y000，使得南北方向的红灯亮、东西方向的绿灯亮。按停止按钮 SB2，则辅助继电器 M100 断电并解除自锁，整个系统停止运行，所有信号灯熄灭。整个程序的运行都是利用定时器来实现交通灯亮灭控制的。

4.4.4　电动机正反转控制

图 4-107 所示为三相异步电动机正反转控制电路。

1. 控制分析

正转：按下 SB2 按钮，KM1 通电吸合，M 正转；

反转：按下 SB3 按钮，KM2 通电吸合，M 反转；

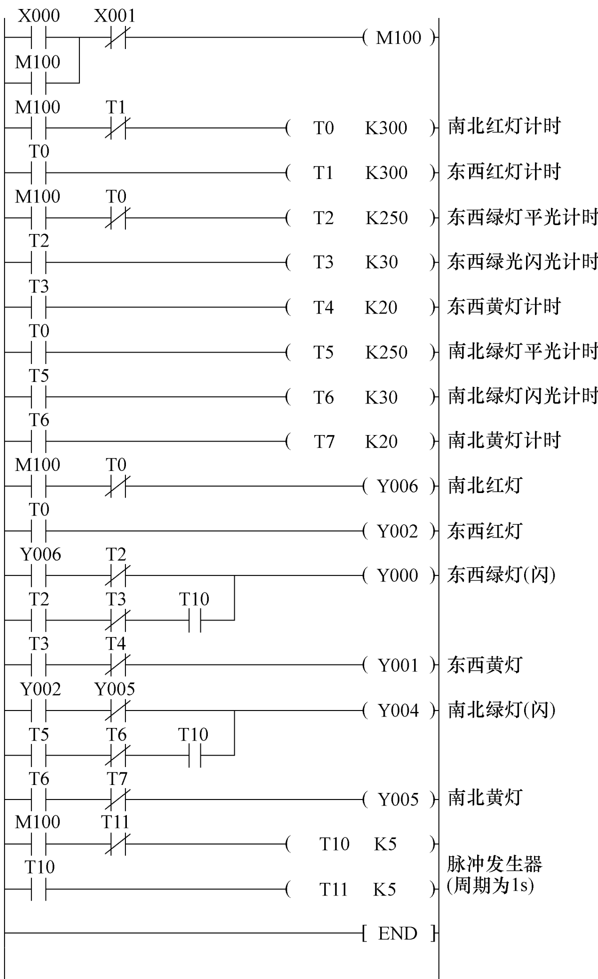


图 4-106　交通信号灯控制的梯形图

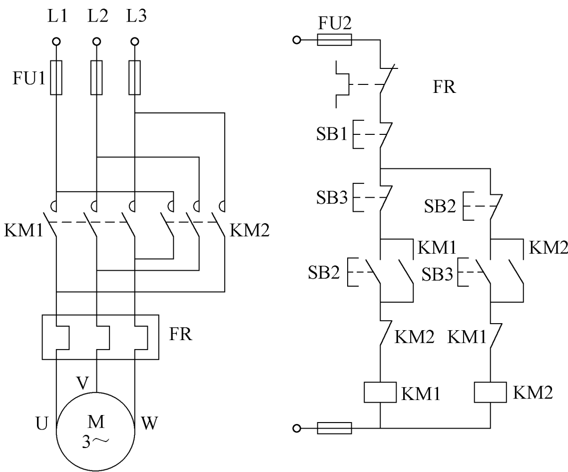


图 4-107　三相异步电动机正反转控制电路

停止：按下 SB1 按钮，KM1（KM2）断电释放，M 停转。

2. 编制现场信号与PLC 地址对照（见表 4-17）

表 4-17 现场信号与 PLC 地址对照表

类 别	名 称	现场信号	PLC 地址
输入信号	停止按钮	SB1	X000
	正转按钮	SB2	X001
	反转按钮	SB3	X002
	热继电器	KR	X003
输出信号	正转接触器	KM1	Y000
	反转接触器	KM2	Y001

3. 画梯形图

按梯形图的要求把原控制电路适当改动，并根据表标出各触点、线圈的文字符号。由于梯形图中的触点代表软继电器的状态，其中 X000 的动断触点只有在输入继电器 X000 未得电的条件下才保持闭合，所以当电动机运行时，停止按钮应该断开输入继电器 X000，即停止按钮 SB1 应当接动合触点，其接线图和梯形图如图 4-108 所示。

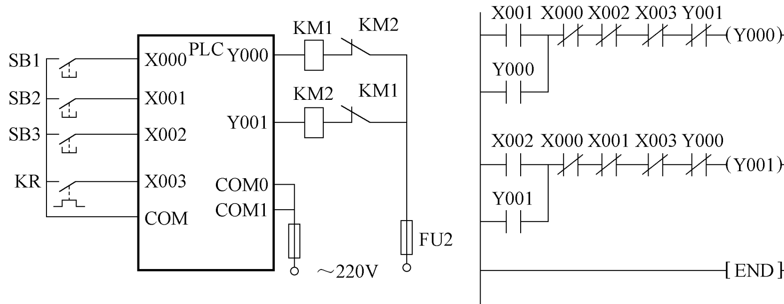


图 4-108 PLC 控制电动机正反转接线图和梯形图

4.4.5 交流电动机直接起动

1. 硬件电气连接

实现电动机的起动及连续运行所需的器件有起动按钮 SB1、停止按钮 SB2、交流接触器 KM1、热继电器 KR 及刀开关 QK 等，输入输出接线图如图 4-109 所示。

由图 4-109 可知，起动按钮 SB1 接于 X000，停止按钮接于 X001，热继电器动合触点接于 X002，交流接触器接于 Y000，这就是端子分配，其实质是为程序安排 PLC 系统中的机内元件，这个过程叫 I/O 分配。

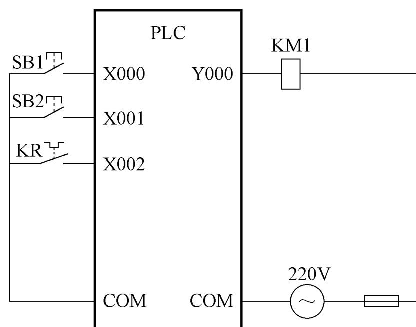


图 4-109 输入输出接线图

2. 梯形图的设计

PLC 的基本逻辑控制功能是基于继电器-接触器

控制系统而设计的，而控制功能的实现是由应用程序来完成的，用户根据 PLC 生产厂家所提供的编程语言来编写程序实现控制任务。梯形图是较常用的编程语言，它是以图形符号及图形符号在图中的相互关系表示控制关系的编程语言，是从继电器电路图演变而来的。两者部分符号对应关系见表 4-18。

表 4-18　继电器与梯形图的对应关系

符 号 名 称	继电器符号	梯形图符号
动合触点		—| |—
动断触点		—|/|—
线圈		—( )—

根据输入、输出接线，利用 PLC 的基本编程指令写出异步电动机起动运行的梯形图如图 4-110a 所示。

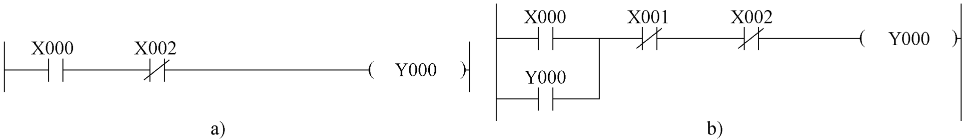


图 4-110　电动机控制梯形图

工作过程分析如下：

当按下 SB1 时，输入继电器 X000 得电，其动合触点闭合，因为异步电动机未过热，热继电器动合触点不闭合，输入继电器 X002 不接通，其动断触点保持闭合，则此时输出继电器 Y000 接通，进而接触器 KM 得电，其主触点接通电动机的电源，则电动机起动运行。当松开按钮 SB1 时，X000 断电，其触点断开，Y000 断电，接触器 KM 断电，电动机停止转动，即图 4-110a 所示梯形图可实现点动控制功能。

同理写出电动机连续运行的梯形图如图 4-110b 所示，其工作过程分析如下：

当按钮 SB1 被按下时 X000 接通，Y000 置 1，这时电动机连续运行。需要停车时，按下停车按钮 SB2，串联于 Y000 线圈回路中的 X001 动断触点断开，Y000 置 1，电动机断电停车。

图 4-110b 所示梯形图中并联在 X000 动合触点上的 Y000 动合触点的作用是当钮 SB1 松开，输入继电器 X000 断开时，线圈 Y000 仍然能保持接通状态。显然这个触点实现了继电器的自锁，从梯形图的结构与继电器-接触器的结构看是一致的，功能是一致的。

从这个例子可知，PLC 实现控制功能需要硬件连接和程序，程序实现逻辑运算，硬件获得输入信号并将程序的运行输出结果输出。由于逻辑运算由程序来实现，所以 PLC 系统在不改变硬件接线的情况下，通过变更软件设计，可完成不同的控制任务。

4.4.6　异步电动机减压起动

三相交流异步电动机起动时电流较大，一般是额定电流的 5 ~ 7 倍。故对于功率较大的

电动机，应采用减压起动方式。Y/△减压起动是常用的方法之一。

起动时，定子绕组首先接成星形，待转速上升到接近额定转速时，再将定子绕组的接线换成三角形联结，电动机便进入全电压正常运行状态。图 4-111 所示为由继电器-接触器实现的Y/△减压起动控制电路。

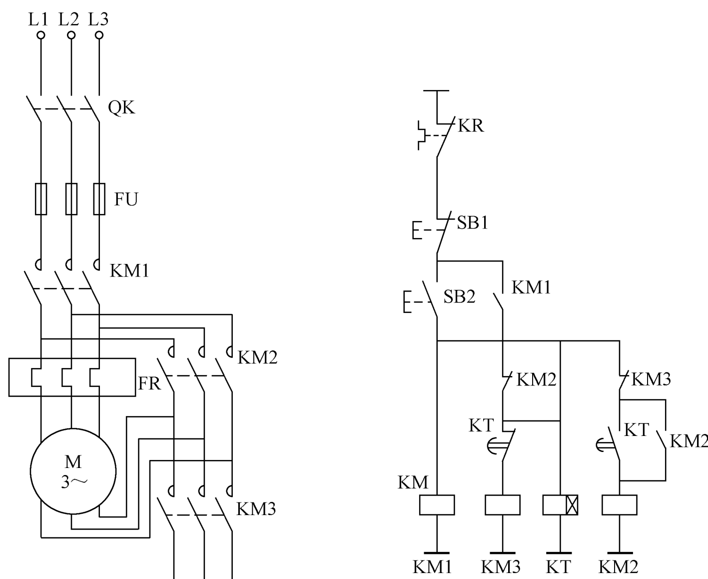


图 4-111　继电器-接触器实现的Y/△减压起动控制电路

根据起动过程中的时间变化，利用时间继电器来控制Y/△的换接。由图 4-111 可知，工作时，首先合上刀开关 QK。当接触器 KM1 及 KM3 接通时，电动机Y形起动。当接触器 KM1 及 KM2 接通时，电动机△形起动。

线路中 KM2 和 KM3 的动断触点构成电气互锁，保证电动机绕组只能接成一种形式，即Y形或△形，以防止同时连接成Y形及△形而造成电源短路。

1. I/O 分配

完成起动功能所需的硬件及 I/O 端口分配如图 4-112 所示。由图可见，SB1 为停止按钮，SB2 为起动按钮，KR 为热继电器的动合触点，KM1 为主电源接触器，KM2 为△形起动接触器，KM3 为Y形起动接触器。

2. 程序设计

利用基本指令按照继电器接触器的控制功能用相应的编程要素编写程序，可编程控制的梯形图及指令表如图 4-113 所示。

工作过程分析如下：按下启动按钮 SB2 时，输入继电器 X000 的常开触点闭合，并通过主控触点（M100 常开触点）自锁，输出继电器 Y001 接通，接触器 KM3 得电吸合，接着 Y000 接通，接触器 KM1 得电吸合，电动机在Y形接线方式下启动；同时定时器 T0 开始计时，延时 8s 后 T0 动作，使 Y001 断开，Y001 断开后，KM3 失电，互锁解除，使输出继电器 Y002 接通，接触器 KM2 得电，电动机在△形接线方式下运行。若要使电动机停止，按下

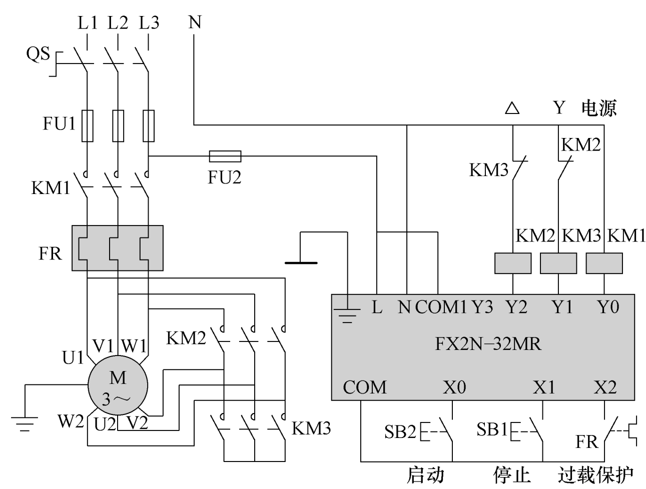


图 4-112　完成启动功能所需的硬件及输入/输出端口分配图

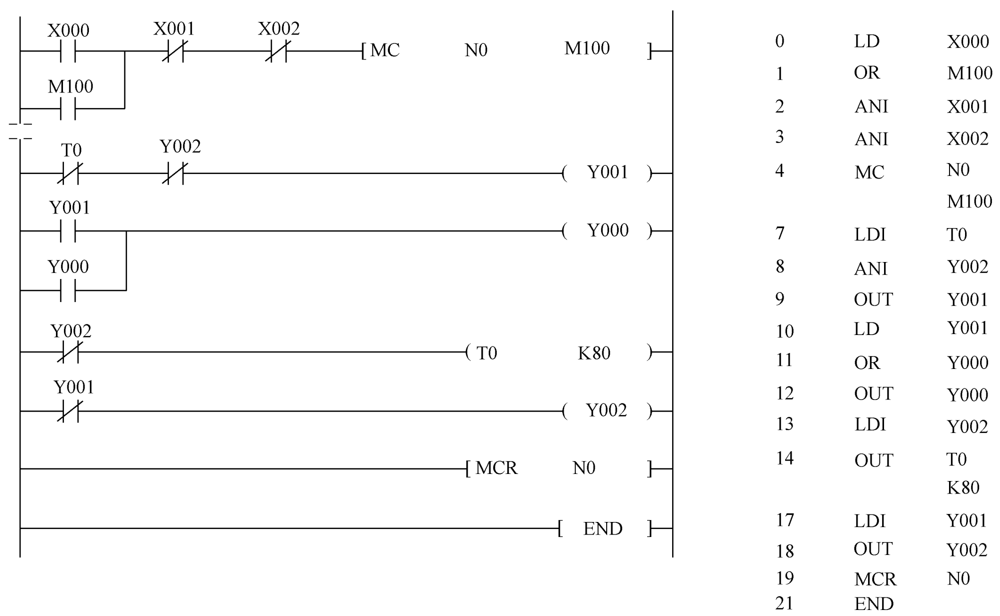


图 4-113　Y/△起动控制的梯形图及指令表

SB1 按钮或过载保护（FR）动作，不论电动机是启动或运行情况下都可使主控接点断开，电动机停止运行。

在程序中与继电器-接触器系统不同的是：继电器-接触器在星形接法到三角形接法切换是由时间继电器来实现的，而在 PLC 系统中，虽然星形接法到三角形接法切换也是由时间继电器来实现的，但它在硬件连接中并没有时间继电器，时间继电器的功能是由软件来实现的，程序中选用了定时器 T0。这样用软件实现硬件的功能提高了系统的可靠性，缩短了硬件安装、调试时间。

4.5 梯形图编程注意事项

4.5.1 梯形图编程的基本规则

1）X、Y、M、T、C 等器件的触点可多次重复使用。

2）梯形图每一行都是从左边母线开始，线圈接在最右边。

3）线圈不能直接与左边的母线相连，不要在线圈的右侧写触点，如图 4-114 所示。

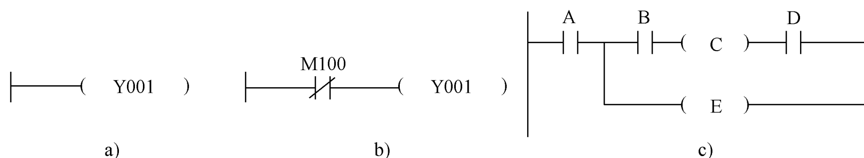


图 4-114 规则 3）的说明

a）不正确的电路 b）正确的电路 c）梯形图

4）同一编号的线圈在一个程序中使用两次称为双线圈输出，双线圈输出容易引起误操作，应避免线圈重复使用。

5）梯形图必须符合顺序执行的原则，即从左到右、从上到下地执行。如不符合顺序执行的电路不能直接编程。图 4-115 所示的桥式电路梯形图就不能直接编程。

6）在梯形图中串联触点和并联触点使用的次数没有限制，但由于梯形图编程器和打印机的限制，建议串联触点一行不超过 10 个，并联连接的次数不超过 24 行，如图 4-116 所示。

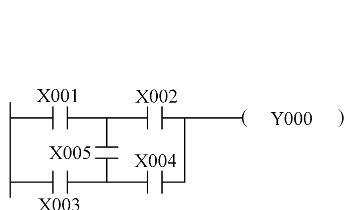


图 4-115 桥式电路

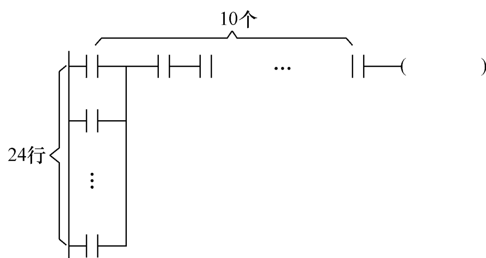


图 4-116 规则 6）的说明

7）两个或两个以上的线圈可以并联输出，但连续输出总共不超过 24 行，如图 4-117 所示。

4.5.2 梯形图编程技巧

1）串联触点较多的电路画在梯形图的上方，如图 4-118 所示。

图 4-118 的程序为

```
0  LD   X001
1  LD   X002
2  AND  X003
3  ORB
```

4　OUT　Y001

图 4-118b 的程序为

0　LD　X002

1　AND　X003

2　OR　X001

3　OUT　Y001

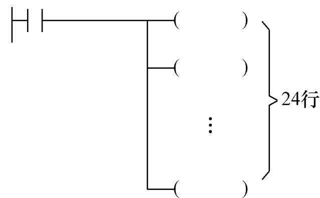


图 4-117　规则 7）的说明

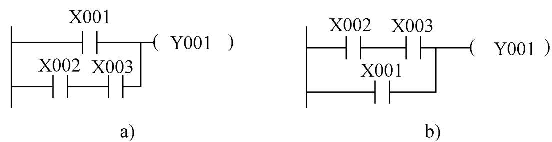


图 4-118　可重新排列的电路一

a）安排不当的电路　b）安排得当的电路

2）并联电路应放在左边，如图 4-119 所示。

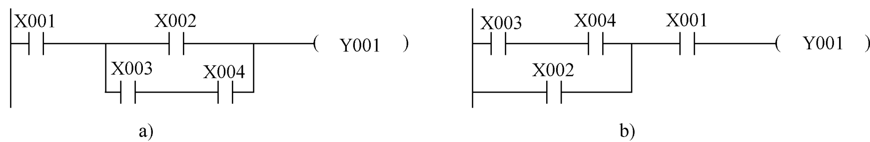


图 4-119　可重新排列的电路二

a）安排不当的电路　b）安排得当的电路

3）并联线圈电路，从分支点到线圈之间无触点的，线圈应放在上方。如图 4-120 所示，这样可以节省 MPS 和 MPP 指令，这就节省了存储器空间并缩短了运算周期，见表 4-19。

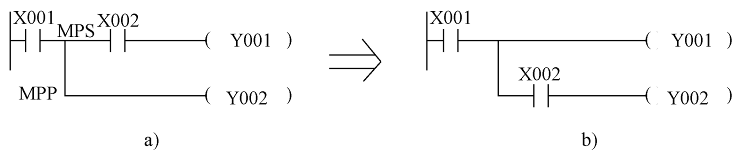


图 4-120　可重新排列的电路三

a）安排不当的电路　b）安排得当的电路

表 4-19　语句表步数比较

图 4-120a 程序			图 4-120b 程序		
0	LD	X001	0	LD	X001
1	MPS		1	OUT	Y002
2	AND	X002	2	AND	X002
3	OUT	Y001	3	OUT	Y001
4	MPP				
5	OUT	Y002			

4）桥型电路的编程，如图 4-121 所示。

图 4-121a 所示的梯形图是一个桥型电路，不能直接对它编程，必须等效为图 4-121b 所

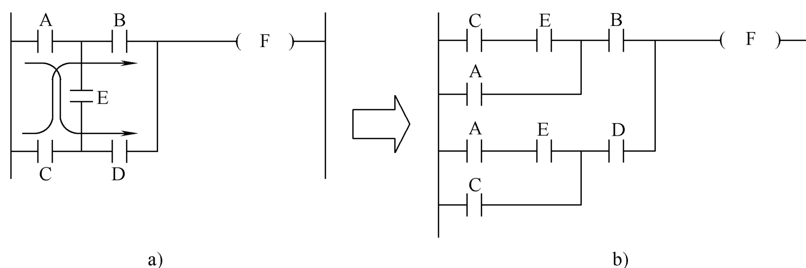


图 4-121　可重新排列的电路四

示的电路才能编程。其等效的原则是：逻辑关系不变。

5）复杂电路的处理：如果电路的结构比较复杂，用 ANB 或者 ORB 等指令难以解决，可重复使用一些触点画出它们的等效电路，然后再进行编程就比较容易了，如图 4-122 和图 4-123 所示。

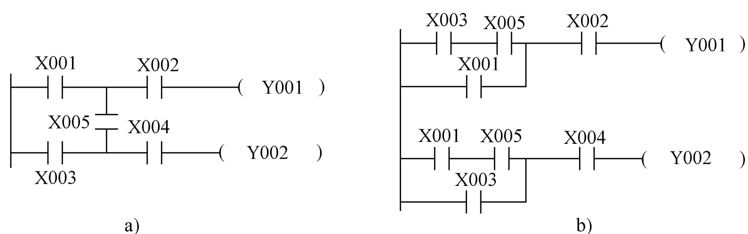


图 4-122　可重新排列的电路五

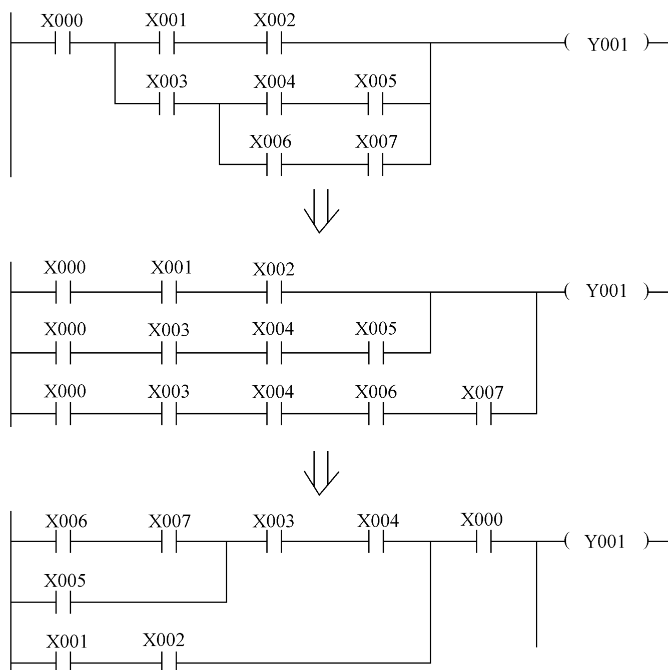


图 4-123　可重新排列的电路六

第 5 章　步进指令及状态编程法

5.1　步进顺序控制与顺序功能图

在第 4 章的学习中已经了解了 PLC 的一些基本编程方法，用基本逻辑指令在做一些顺序控制，特别是较为复杂的顺序控制时，不很直观。因此 PLC 厂家开发出了专门用于顺序控制的指令，在三菱 FX 系列中为 STL、RET 一组指令，从而使得顺序控制变得直观简单。根据状态转移图，采用步进指令可对复杂的顺序控制进行编程。

5.1.1　顺序控制

所谓顺序控制，就是按照生产预先规定的顺序，在各个输入信号的作用下，根据内部状态和时间的顺序，在生产过程中各个执行机构自动、有序地行操作。使用顺序控制设计法时首先根据系统的工艺过程，画出顺序功能图，然后根据顺序功能图画出梯形图。这种编程方法就是顺序功能图法，也叫步进梯形图法。顺序功能图又称状态转移图，既是描述控制系统的控制过程、功能和特性的一种图形，也是设计 PLC 的顺序控制程序的有力工具。

在顺序控制中，生产过程是按顺序、有秩序地连续工作。因此可以将一个较复杂的生产过程分解成若干步骤，每一步对应生产过程中的一个控制任务，即一个工步或一个状态。且每个工步往下进行都需要一定的条件，也需要一定的方向，这就是转移条件和转移方向。

PLC 是典型的开环顺序控制系统。我们在日常生活和工业生产中常常要求机器设备能实现某种顺序控制功能，即要求机器能按照某种预先规定的顺序，以及各种环境输入信号来自动实现所期望的动作。比如一个配料系统，我们可能对其运转提出以下要求：

1）先装入原料 A，直到液面配料桶容积的一半；

2）再装入原料 B，直到液面配料桶容积的 75%；

3）然后开始持续搅拌 20s；

4）最后停止搅拌，开启出料阀，直到液位低于配料桶的 5% 后再延时 2s，最后关闭出料阀；

5）以上过程反复进行。

由此可见，顺序控制系统中的动作存在确定的先后关系（即顺序），且后面的动作必须根据前面的动作情况来确定。配料系统运转过程顺序如图 5-1 所示。

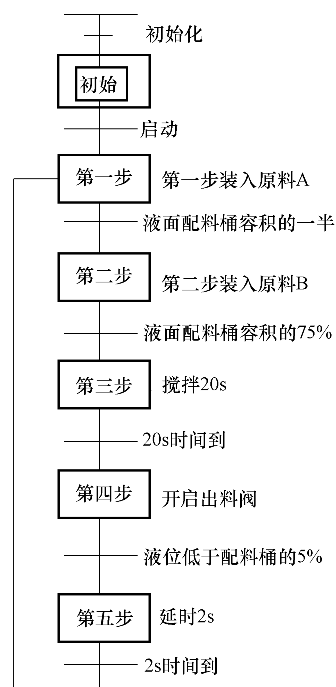


图 5-1　配料系统运转过程顺序示意图

5.1.2 顺序功能图的设计

顺序功能图（Sequential Function Chart，SFC）又称状态转移图，在顺序功能图中，每个状态都分别采用连续的、不同的状态继电器表示。FX_{2N}系列 PLC 状态继电器的分类、编号、数量及功能见表 5-1。

表 5-1 FX_{2N}系列 PLC 的状态继电器

状态	初始化用	10 点 S0 ~ S9
	一般化用	490 点 S10 ~ S499
	锁存用	400 点 S500 ~ S899
	报警用	100 点 S900 ~ S999

在用顺序功能图编写程序时，状态继电器可以按顺序连续使用。但是状态继电器的编号要在指定的类别范围内选用；各状态继电器的触点可自由使用，使用次数无限制；在不用状态继电器进行状态转移图编程时，状态继电器可作为辅助继电器使用，用法和辅助继电器相同。

用顺序功能图进行系统程序设计一般有两种思路：一种是针对某一具体对象（输出）来考虑，另一种就是功能图设计法。它把整个系统分成几个时间段，在这段时间里可以有一个输出，也可以有多个输出，但它们各自状态不变。一旦有一个变化，系统即转入下一个状态。给每一个时间段设定一个状态器（步进触点），利用这些状态器的组合控制输出。

任何一个顺序控制过程都可分解为若干步骤，每一工步就是控制过程中的一个状态，所以顺序控制的动作流程图也称为状态转移图，状态转移图就是用状态（工步）来描述控制过程的流程图。

在状态转移图中，一个完整的状态必须包括：

1）该状态的控制元件；

2）该状态所驱动的对象；

3）向下一个状态转移的条件；

4）明确的转移方向。

状态转移的实现必须满足两个方面：一是转移条件必须成立，二是前一步当前正在进行。两者缺一不可，否则程序的执行在某些情况下就会混乱。

例如工作台自动往复控制系统，可以画出它的状态转移图如图 5-2 所示。

要求：正反转启动信号 SB0、SB1，停车信号 SB2，左右限位开关 SQ1、SQ2，左右极限保护开关 SQ3、SQ4，输出信号 Y000、Y001，具有电气互锁和机械互锁功能。

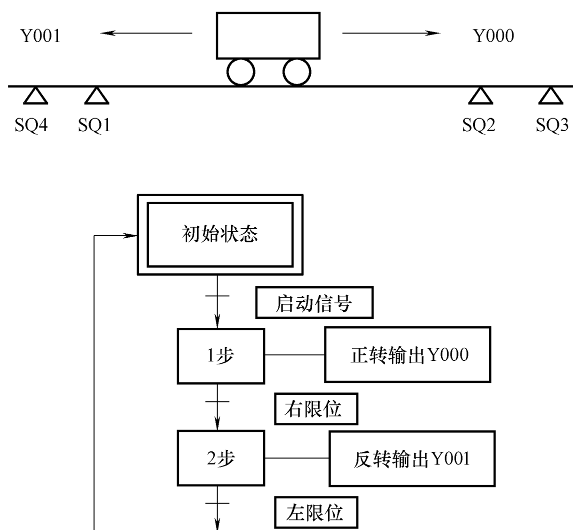


图 5-2 自动往复控制系统状态转移图

所以，画状态转移图一般包括以下

几个步骤：

1）分析控制要求和工艺流程，确定状态转移图结构（复杂系统需要）；

2）工艺流程分解若干步，每一步表示一个稳定状态；

3）确定步与步之间转移条件及其关系；

4）确定初始状态（可用输出或状态器）；

5）解决循环及正常停车问题；

6）急停信号的处理。

5.2　顺序功能图的组成和分类

5.2.1　顺序功能图的组成结构

顺序功能图是用状态元件描述工步状态的工艺流程图。它通常由初始状态、一系列一般状态、转移线和转移条件组成。每个状态提供三个功能：驱动有关负载、指定转移条件和指定转移目标。图 5-3 所示是一个状态转移图的例子。

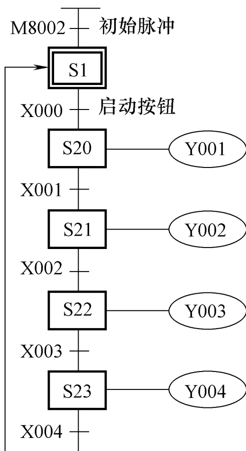


图 5-3　状态转移图

1. 步

顺序控制设计法最基本的思想是将系统的一个工作周期划分为若干个顺序相连的阶段，这些阶段称为步（Step），可以用编程元件（例如内部辅助继电器 M 和状态继电器 S）来代表各步。步是根据输出量的状态变化来划分的，在任何一步之内，各输出量的 ON/OFF 状态不变，但是相邻两步输出量总的状态是不同的，步的这种划分方法使代表各步的编程元件的状态与各输出量的状态之间有着极为简单的逻辑关系。

图 5-4 中送料小车开始停在左侧限位开关 X001 处，按下起动按钮 X000，Y002 变为 ON，打开贮料斗的闸门，开始装料，同时用定时器 T0 定时，10s 后关闭贮料斗的闸门，Y000 变为 ON，开始右行，碰到限位开关 X002 后停下来卸料（Y003 为 ON），同时用定时器 T1 定时；5s 后 Y001 变为 ON，开始左行，碰到限位开关 X001 后返回初始状态，停止运行。根据 Y000 ~ Y003 ON/OFF 状态的变化，显然一个周期可以分为装料、右行、卸料和左行这 4 步，另外还应设置等待启动的初始步，分别用 M0 ~ M4 来代表这 5 步。图 5-4a 是运料小车运行的空间示意图，图 5-4b 是描述该系统的顺序功能图，图中用矩形方框表示步，方框中可以用数字表示该步的编号，一般用代表该步的编程元件的元件号作为步的编号（如 M0 等），这样在根据顺序图设计梯形图时较为方便。

（1）初始步

与系统的初始状态相对应的步称为初始步，初始状态一般是系统等待启动命令的相对静止状态。初始步用双线方框表示，每一个顺序功能图至少应该有一个初始步。步和初始步如图 5-5 所示。

（2）活动步

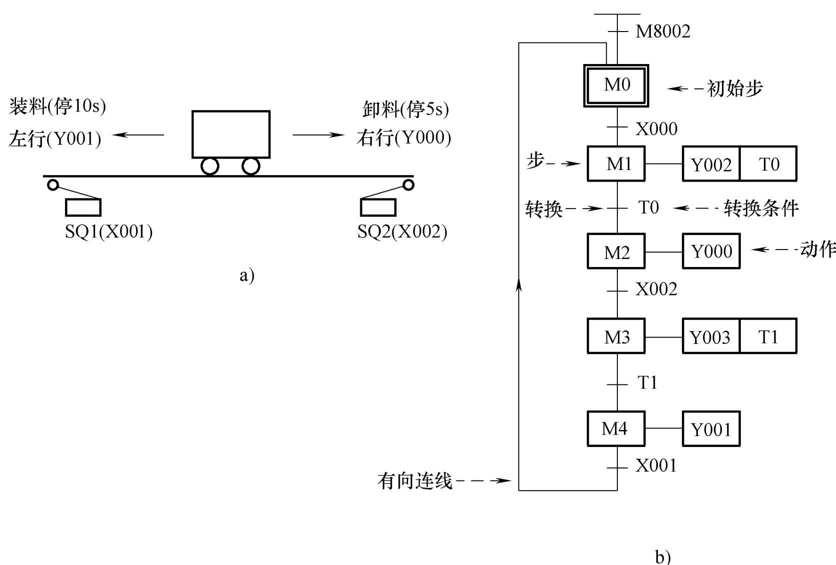


图 5-4　运料小车运行的空间示意图和顺序功能图

当系统正处于某一步所在的阶段时，该步处于活动状态，称该步为“活动步”。步处于活动状态时，相应的动作被执行；处于不活动状态时，相应的非存储型动作被停止执行。

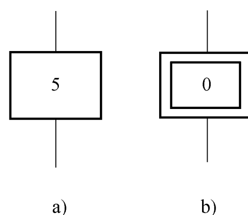


图 5-5　步和初始步

（3）与步对应的动作或命令

可以将一个控制系统划分为被控制系统和施控系统，例如在数控车床系统中，数控装置是施控系统，而车床是被控系统。对于被控系统，在某一步中要完成某些“动作（action）”；对于施控系统，在某一步中则要向被控系统发出某些“命令（command）”。为了叙述方便，下面将命令或动作统称为动作，并用矩形框中的文字或符号表示，该矩形框应与相应的步的符号相连。

一个步表示控制过程中的稳定状态，它可以对应一个或多个动作。可以在步的右边加一个矩形框，在框中用简明的文字说明该步对应的动作，如图 5-6 所示。

图 5-6a 表示一个步对应一个动作，图 5-6b 和图 5-6c 表示一个步对应多个动作，两种方法任选一种。

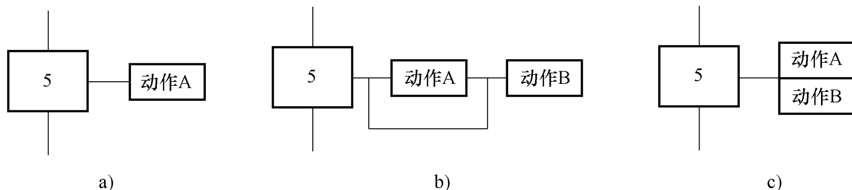


图 5-6　与步对应的动作

如果某一步有几个动作，可以用图 5-7 所示的两种画法来表示，但是它并不隐含这些动作之间的任何顺序。说明命令的语句应清楚地表明该命令是存储型的还是非存储型的。例如某步的存储型命令“打开 1 号阀并保持”，是指该步为活动步时 1 号阀打开，该步为不活动

步时继续打开；非存储型命令“打开 1 号阀”，是指该步为活动步时打开，为不活动步时关闭。

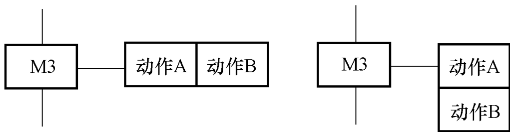


图 5-7　多个动作的表示方法

除了以上的基本结构之外，使用动作的修饰词（见表 5-2）可以在一步中完成不同的动作。修饰词允许在不增加逻辑的情况下控制动作。例如，可以使用修饰词 L 来限制配料阀打开的时间。

表 5-2　动作的修饰词

N	非存储型	当步变为不活动步时动作终止
S	置位(存储)	当步变为不活动步时动作继续,直到动作被复位
R	复位	被修饰词 S、SD、SL 或 DS 起动的动作被终止
L	时间限制	步变为活动步时动作被起动,直到步变为不活动步或设定时间到
D	时间延迟	步变为活动步时延迟定时器被起动,如果延迟之后步仍然是活动的,动作被起动和继续,直到步变为不活动步
P	脉冲	当步变为活动步时,动作被起动并且只执行一次
SD	存储与时间延迟	在时间延迟之后动作被起动,一直到动作被复位
DS	延迟与存储	在延迟之后如果步仍然是活动的,动作被起动直到被复位
SL	存储与时间限制	步变为活动步时动作被起动,一直到设定的时间到或动作被复位

在图 5-4 中定时器 T0 的线圈应在 M1 为活动步时通电，而在 M1 为不活动步时断电。从这个意义上来说，T0 的线圈相当于步 M1 的一个动作，所以将 T0 作为步 M1 的动作来处理，步 M1 下面的转换条件 T0 由定时器 T0 的动合触点提供。因此动作框中的 T0 对应的是 T0 的线圈，转换条件 T0 对应的是 T0 的动合触点。

2. 有向连线与转换条件

（1）有向连线

在顺序功能图中，随着时间的推移和转换条件的实现，将会发生步的活动状态的进展，这种进展按有向连线规定的路线和方向进行。在画顺序功能图时，将代表各步的方框按它们成为活动步的先后次序顺序排列，并用有向连线将它们连接起来。步的活动状态习惯的进展方向是从上到下或从左至右，在这两个方向有向连线上的箭头可以省略。如果不是上述的方向，应在有向连线上用箭头注明进展方向。如果在画图时有向连线必须中断（例如在复杂的图中，或用几个图来表示一个顺序功能图时），则应在有向连线中断之处标明下一步的标号和所在的页数。

（2）转换

转换用有向连线上与有向连线垂直的短划线来表示，转换将相邻两步分隔开。步的活动状态的进展是由转换的实现来完成的，并与控制过程的发展相对应。

（3）转换条件

前步进入下一步的信号为转换条件，转换条件可以是外部的输入信号，如按钮、指令开关、限位开关的接通和断开等；也可以是 PLC 内部产生的信号，如定时器、计数器动合触点的接通等；转换条件还可能是若干个信号的与、或、非逻辑组合。转换条件是与

转换相关的逻辑命题，转换条件可以用文字语言、布尔代数表达式或图形符号标注在表示转换的短线的旁边，使用最多的是布尔代数表达式，如转换条件 X000 和 $\overline{X000}$ 分别表示当输入信号 X000 为 ON 和 OFF 时转换实现。↑X000 和↓X001 分别表示当 X000 从 0→1 状态和从 1→0 状态时转换实现，如图 5-8 所示。

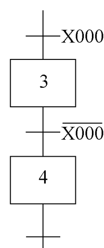


图 5-8　转换条件的表示方法

3. 顺序功能图的使用说明

顺序功能图编程时需注意以下事项：

1）步与步不能直接相连，必须用转移分开；

2）转移与转移不能直接相连，必须用步分开；

3）步与转移、转移与步之间的连线采用有向线段，画功能图的顺序一般是从上向下或从左到右，正常顺序时可以省略箭头，否则必须加箭头。

4）一个功能图至少应有一个初始步。功能图中的初始步一般对应于系统等待起动的初始状态，它是必不可少的。

5）自控系统应能多次重复执行同一工艺过程，因此功能图中应有有向连线组成的闭环。

6）如果用没有断电保持功能的编程元件代表各步，PLC 开始进入 RUN 工作方式时，它们均处于断开状态，所以必须用 M8002 的常开触点作为转换条件，将初始步预置为活动步。

5.2.2　顺序功能图的主要类型

顺序功能图通常分为以下 4 种类型：

1. 单流程

单流程由一系列相继激活的步组成，每一步的后面仅有一个转换，每一个转换的后面只有一个步，如图 5-9a 所示。

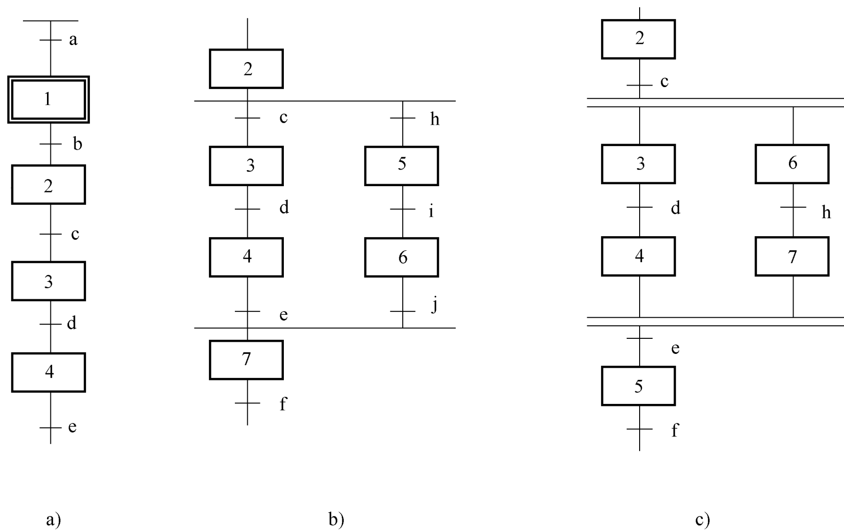


图 5-9　单序列、选择序列和并行序列

图 5-10 所示为单流程的应用示例，即机械手将工件从 A 工位送到 B 工位的动作图和状态转移图。

单循环运行过程如下：

1）用手动操作将机械移至原点位置，然后按动启动按钮 X026，动作状态从 S5 向 S20 转移，下降电磁阀的输出 Y000 动作，接着下限位开关 X001 接通。

2）动作状态 S20 向 S21 转移，下降输出 Y000 切断，夹钳输出 Y001 保持接通状态。

3）1s 后定时器 T0 动作，转至状态 S22，上升输出 Y002 动作，不久到达上限位，X002 接通，状态转移。

4）状态 S23 为右行，输出 Y003 动作，到达右限位置，X003 接通，转为 S24 状态。

5）转至状态 S24，下降输出 Y000 再次动作，到达下限位置，X001 立即接通，接着动作状态由 S24 向 S25 转移。

6）在 S25 状态，先将保持夹钳输出 Y001 复位，并启动定时器 T1。

7）夹钳输出复位 1s 后状态转移到 S26，上升输出 Y002 动作。

8）到达上限位置 X002 接通，动作状态向 S27 转移，左行输出 Y004 动作。一旦到达左限位置，X004 接通，动作状态返回 S5，成为等待再启动的状态。

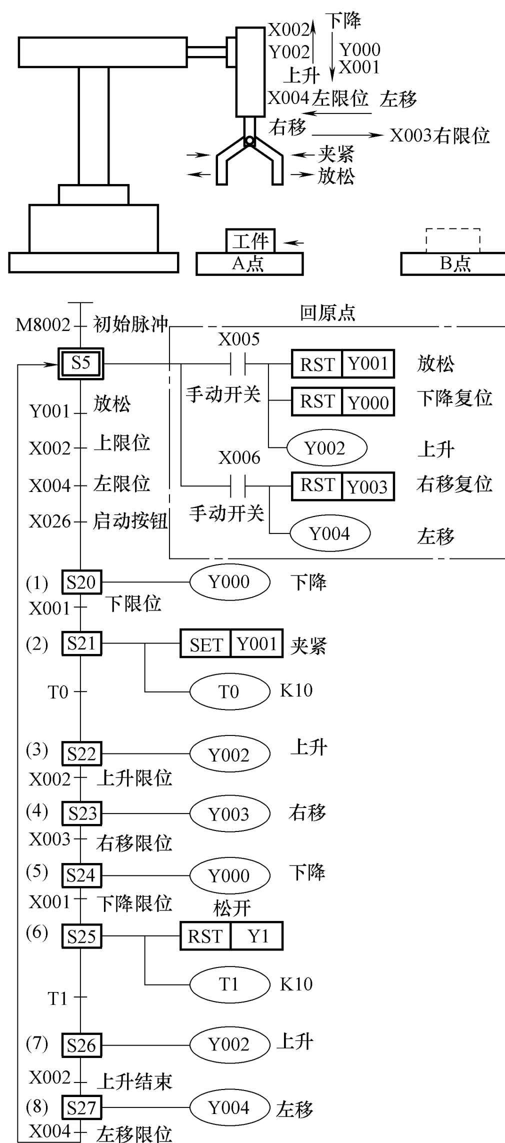


图 5-10　机械手将工件从 A 工位送到 B 工位的动作图和状态转移图

2. 选择性分支与汇合

所谓选择性分支就是从多个流程中选择执行一个流程，最简单地说就是前面有两条或多条路，只能选择走一条。那么选择性分支也就是这个意思，每条路都通向某一个相同的地方，而那个地方就是汇合处。例如抢答器就是这个原理，每次只有一个能抢答到。选择序列的开始称为分支（见图 5-9b），转换符号只能标在水平连线之下。如果步 2 是活动步，并且转换条件 c = 1，将发生步 2→步 3 的进展。如果步 2 是活动步，并且 h = 1，将发生步 2→步 5 的进展。如果将选择条件 h 改为 ch，则当 c 和 h 同时为 ON 时，将优先选择 c 对应的序列，一般只允许同时选择一个序列，即选择序列中的各序列是互相排斥的，其中的任何两个序列都不会同时执行。

选择序列的结束称为合并，几个选择序列合并到一个公共序列时，用需要重新组合的序

列相同数量的转换符号和水平连线来表示，转换符号只允许标在水平连线之上。如果步 4 是活动步，并且转换条件 e = 1，将发生步 4→步 7 的进展。如果步 6 是活动步，并且 j = 1，将发生步 6→步 7 的进展。

图 5-11 所示为选择性分支与汇合状态转移图和步进梯形图。

选择性分支与汇合的状态转移图和梯形图之间的转换如下：

以图 5-12 为例，必须是 X000、X010 和 X020 不同时接通。例如，在 S20 动作时，若 X000 接通，则动作状态就向 S21 转移，S20 变为不动作。因此，即使以后 X010、X020 动作，S31、S41 也不会动作。汇合状态 S50，可被 S22、S32 和 S42 中的任意一个驱动。

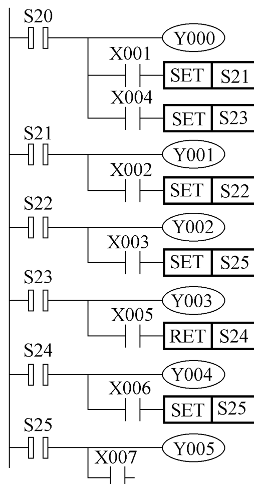


图 5-11　选择性分支与汇合

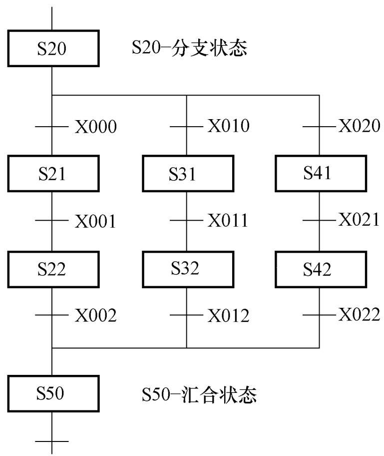


图 5-12　选择性分支与汇合的状态转移图

图 5-13 所示为使用传送带，将大、小球分类选择传送的机械。图 5-13 左上方为原点，其动作顺序为下降、吸住、上升、右行、下降、释放、上升、左行。此外，机械臂下降，当电磁铁压着大球时，下限限位开关 LS2 断开；而当压着小球时，LS2 导通。

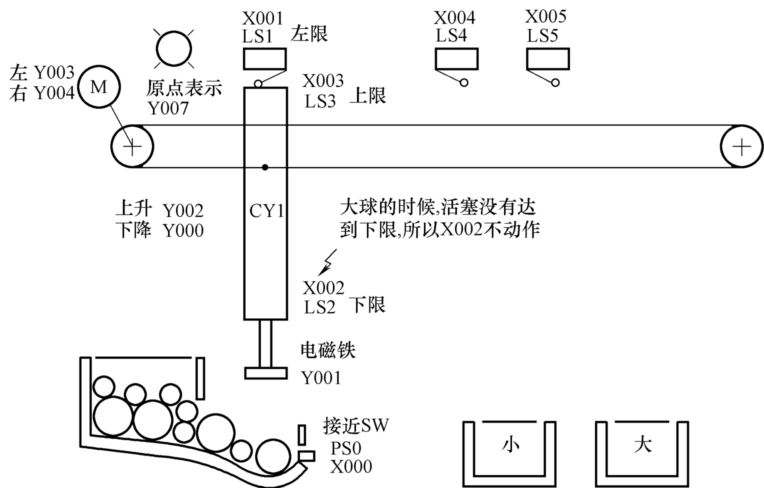


图 5-13　分类选择传送机械系统示意图

像这种大小分类选择或判别合格与否的系统状态转移图，可用图 5-14 所示的选择性分支与汇合系统状态转移图表示。

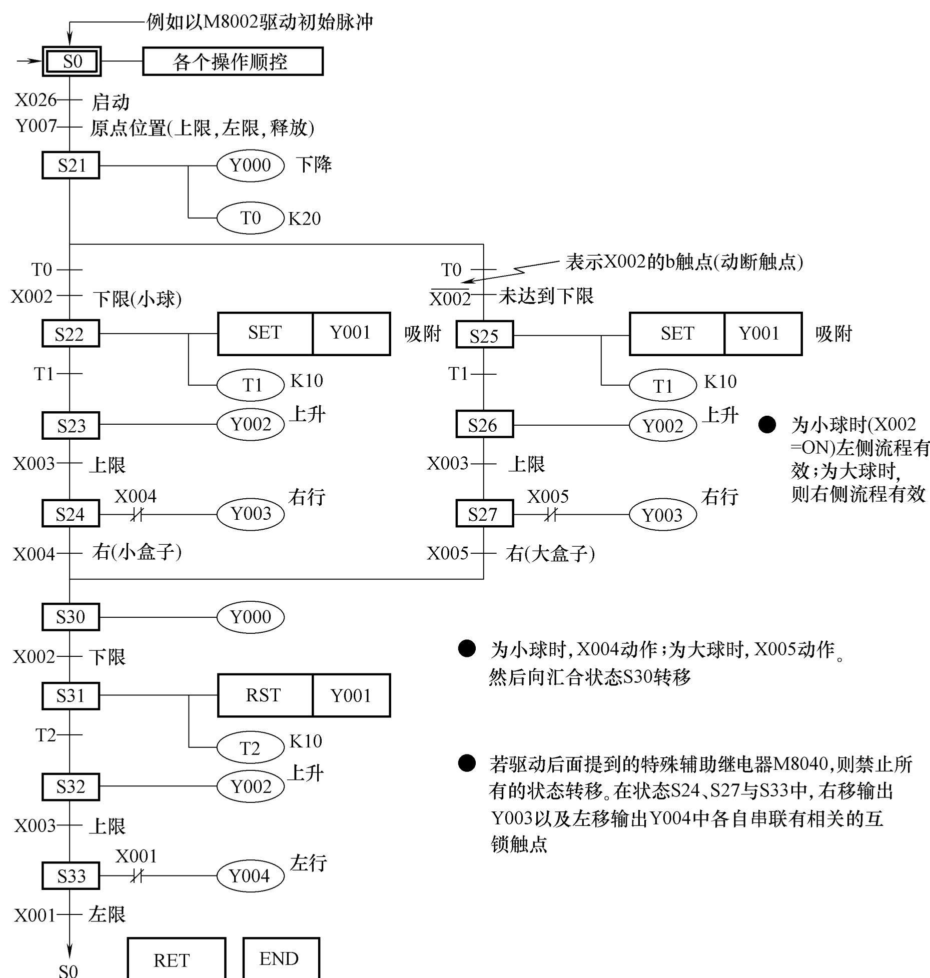


图 5-14　分类选择传送系统状态转移图

3. 并行性分支与汇合

多个流程全部同时执行的分支被称为并行分支。并行序列的开始称为分支（见图 5-9c），当转换的实现导致几个序列同时激活时，这些序列称为并行序列。当步 2 是活动步，并且转换条件 c＝1 时，则 3 和 6 这两步同时变为活动步，同时步 2 变为不活动步。为了强调转换的同步实现，水平连线用双线表示。步 3、6 被同时激活后，每个序列中活动步的进展将是独立的。在表示同步的水平双线之上，只允许有一个转换符号。并行序列用来表示系统的几个同时工作的独立部分的工作情况。

并行序列的结束称为合并，在表示同步的水平双线之下，只允许有一个转换符号。当直接连在双线上的所有前级步（步 4、7）都处于活动状态，并且转换条件 e＝1 时，才会发生步 4、7 到步 5 的进展，即步 4、7 同时变为不活动步，而步 5 变为活动步。在每一个分支点，最多允许有 8 条支路，每条支路的步数不受限制。

并行性分支与汇合如图 5-15 所示。

在 S20 动作时，若 X000 接通，则 S21、S24、S27 同时动作，各分支流程开始动作。当各流程动作全部结束时，若 X007 接通，则汇合状态 S30 开始动作，转移前的各状态 S23、S26、S29 全部变为不动作。这种汇合，有时又被称为等待汇合（先完成的流程要等所有流程动作结束后再汇合，并继续动作）。

图 5-16 所示为并行性分支与汇合状态转移图和步进梯形图。

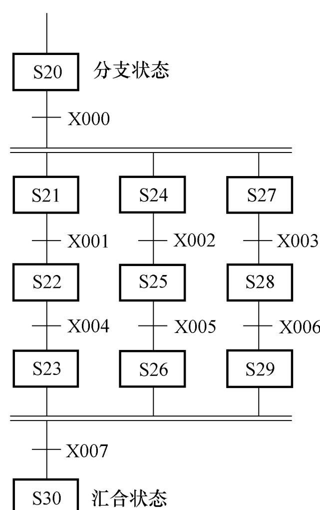
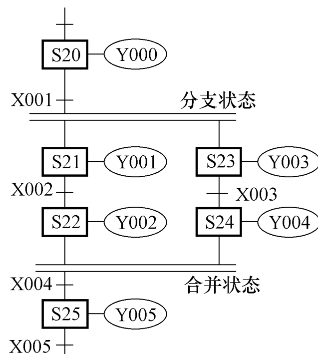


图 5-15　并行性分支与汇合状态图



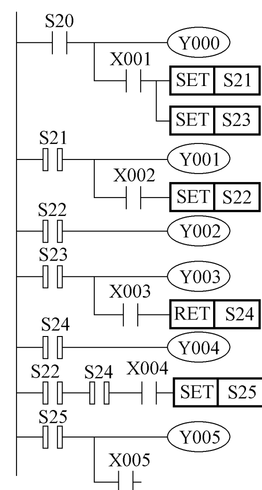


图 5-16　并行性分支与汇合状态转移图和步进梯形图

图 5-17 以按钮式人行横道线为例，说明了并行分支与汇合的流程。

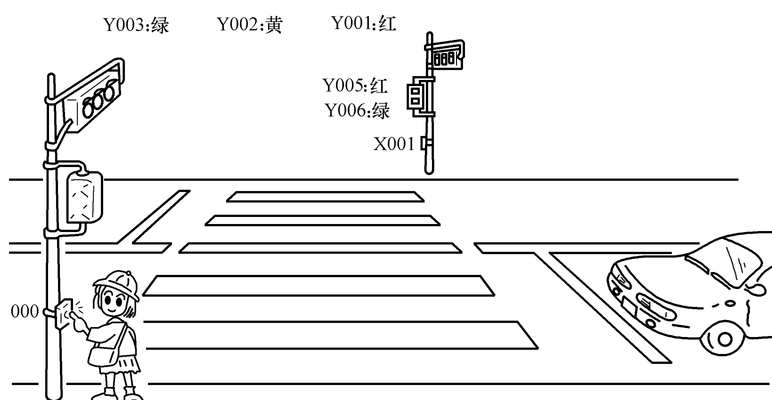


图 5-17　按钮式人行横道线示意图

PLC 从 STOP 向 RUN 变换时，初始状态 S0 动作，通常车道信号灯为绿，而人行横道信号灯为红。按下人行横道按钮 X000 或 X001，则状态 S21 对应的车道信号灯为绿；状态 S30 中的人行横道信号已经为红色，此时状态无变化。30s 后，车道信号为黄灯，再过 10s 车道信号变为红灯。此后，定时器 T2（5s）启动，5s 后人行横道变为绿灯。15s 后，人行横道绿灯开始闪烁（S32 = 暗，S33 = 亮）。闪烁中时 S32、S33 反复动作，计数器 C0（设定值为

5 次）触点一接通，动作状态向 S34 转移，人行横道变为红灯，5s 后返回初始状态。在动作过程中，既使按动人行横道按钮 X000、X001 也无效。其程序如图 5-18 所示。

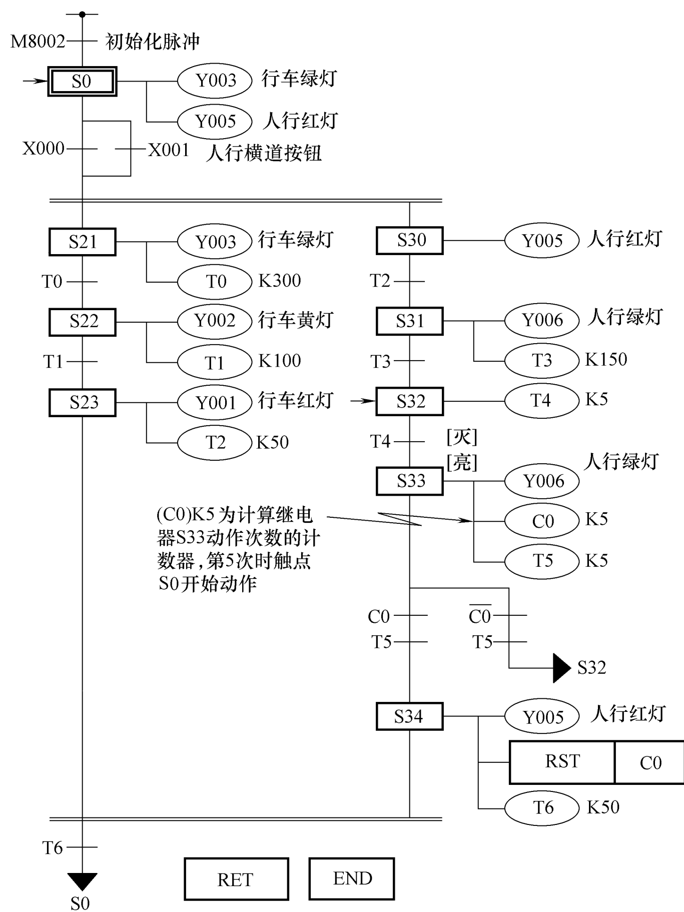


图 5-18　按钮式人行横道线状态图

4. 跳转和重复的处理

状态转移图除上述的几种类型外，还有其他非连续的状态转移类型。

（1）跳步

在生产过程中，有时要求在一定条件下停止执行某些原定动作，可用图 5-19a 所示的跳步序列。这是一种特殊的选择序列，当步 1 为活步时，若转换条件 f = 1、b = 0，则步 2、3 不被激活而直接转入步 4。

（2）重复

在一定条件下，生产过程需重复执行某几个工步的动作，可按图 5-19b 绘制功能图。它也是特殊的选择序列，当步 4 为活步时，若转换条件 e = 0 而 h = 1，则序列返回到步 3，重复执行步 3、4，直到转换条件 e = 1 时才转入步 7。

（3）循环

在序列结束后，用重复的办法直接返回到初始步，于是就形成了系统的循环，如图 5-19c所示。

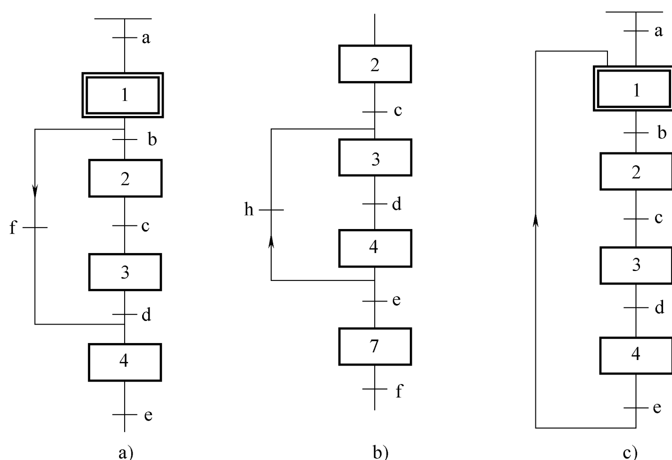


图 5-19　跳步、重复和循环
a）跳步　b）重复　c）循环

5.3　顺序控制梯形图的编程方法

5.3.1　使用起、保、停电路单序列的编程方法

根据顺序功能图设计梯形图时，可用内部辅助继电器 M（特殊辅助继电器除外）来代表各步。某一步为活动步时，对应的辅助继电器为 ON，某一转换实现时，该转换的后续步变为活动步，前一级步变为不活动步。很多转换条件都是短信号，即它存在的时间比它激活的后续步为活动步的时间短，因此应使用有记忆（或称保持）功能的电路来控制代表步的辅助继电器，如常用的有起、保、停电路和置位、复位指令组成的电路。

起、保、停电路仅仅使用与触点和线圈有关的通用逻辑指令，各种型号的 PLC 都有这一类指令，所以这是一种通用的编程方法，适用于任何型号的 PLC。

如图 5-20 所示，采用了起、保、停电路进行顺序控制梯形图编程。图 5-20 中 M2、M3 和 M4 是顺序功能图中顺序相连的 3 步，X002 是步 M3 之前的转换条件。设计起、保、停电路的关键是找出它的启动条件和停止条件。根据转换实现的基本规则，转换实际的条件是它的前级步为活动步，并且满足相应的转换条件，所以步 M3 变为活动步的条件是它的前级步 M2 为活动步，且转换条件 X002 = 1。在起、保、停电路中，则应将前级步 M2 和转换条件 X002 对应的动合触点串联，作为控制 M2 的启动电路。

当 M3 和 X003 均为 ON 时，步 M4 变为活动步，这时步 M3 应变为不活动步，因此可以将 M4 = 1 作为使辅助继电器 M3 变为 OFF 的条件，即将后续步 M4 的动断触点与 M3 的线圈串联，作为起、

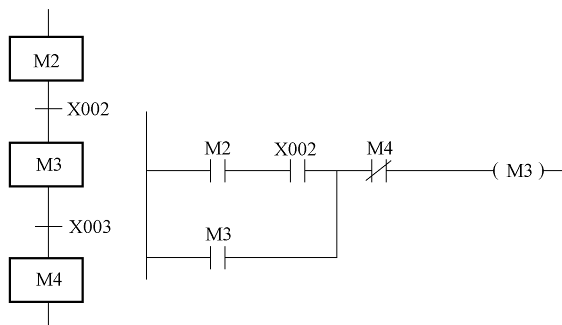


图 5-20　用起、保、停电路控制步

保、停电路的停止电路。图 5-20 中的梯形图可以用逻辑代数式表示为

$$M3 = (M2 \cdot X002 + M3)\ \overline{M4}$$

在这个例子中，M4 的动断触点可以用 X003 的动断触点来代替。但是当转换件由多个信号经“与、或、非”逻辑运算组合而成时，应将它的逻辑表达式求反，再将对应的触点串并联电路作为起、保、停电路的停止电路，但不如使用后续步的动断触点这样简单方便。

下面以图 5-21 所示的运料小车自动循环的控制过程为例，说明单序列的编程方法和用顺序功能图绘制梯形图的步骤。

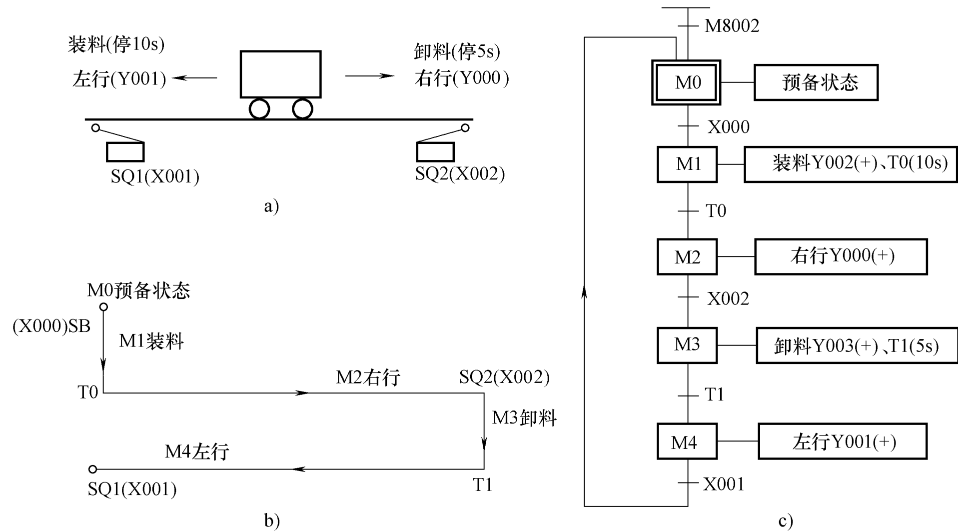


图 5-21　运料小车运行的状态示意图和顺序功能图

1）根据控制要求绘制功能图：首先把工作循环分成预备、装料、右行、卸料和左行，共 5 步，它们的转换条件分别为 SB（X000）、T0、SQ2（X002）、T1 和 SQ1（X001）。图 5-21c给出了功能图，并且填写了各步对应的动作及执行电器的工作情况。

2）编制现场信号与 PLC 软继电器编号对照表，根据图 5-21 所示运料小车的功能图，给标在功能图上的各个现场信号或工步分配一个 PLC 软继电器编号与之对应，可列出对照表 5-3。

表 5-3　运料小车的现场信号和 PLC 软继电器编号对照表

分类	输入信号			输出信号				步序继电器					其他	
信号名称	启动按钮	左限位开关	右限位开关	右行接触器	左行接触器	装料电磁铁	卸料电磁铁	预备状态	一工步	二工步	三工步	四工步	激活初始步	装料卸料时间
现场信号	SB	SQ1	SQ2	KM1	KM2	YV1	YV2	Q0	Q1	Q2	Q3	Q4	L	t0t1
PLC 地址	X000	X001	X002	Y000	Y001	Y002	Y003	M0	M1	M2	M3	M4	M8002	T0T1

3）工步状态的逻辑表达式：根据功能图直接写出五个工步状态以 PLC 地址表达的逻辑式。

$$M0 = (M4 \cdot X001 + M8002 + M0)\overline{M1}$$

$$M1 = (M0 \cdot X000 + M1)\overline{M2}$$

$$M2 = (M1 \cdot T0 + M2)\overline{M3}$$

$M3 = (M2 \cdot X002 + M3)\overline{M4}$

$M4 = (M3 \cdot T1 + M4)\overline{M0}$

4）各执行电器（即输出信号）的逻辑表达式为

Y002 = M1，T0 = M1

Y000 = M2

Y003 = M3，T1 = M3

Y001 = M4

5）根据逻辑表达式画出梯形图：由电路的逻辑表达规律可画出步序继电器和输出信号的梯形图如图 5-22 所示。

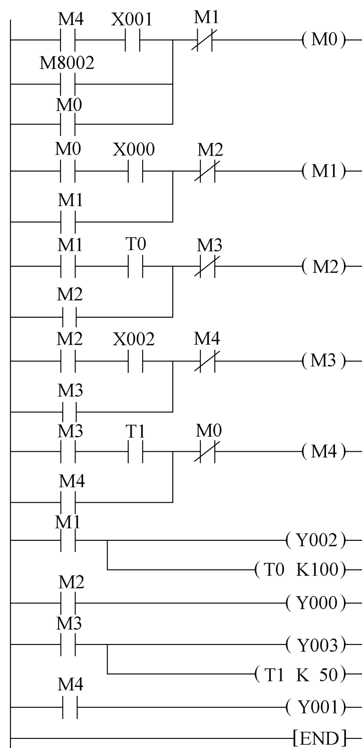


图 5-22　运料小车的梯形图

5.3.2 使用起、保、停电路的选择序列结构的编程方法

复杂控制系统的顺序功能图由单序列、选择序列和并行序列组成，掌握了选择序列和并行序列的编程方法，就可以将复杂的顺序功能图转换为梯形图。

对选择序列和并行序列编程的关键在于对它们的分支和合并的处理，转换实现的基本规则是设计复杂系统梯形图的基本规则。

图 5-23 所示是自动门控制系统的顺序功能图。人靠近自动门时，感应器 X000 为 ON，Y000 变为 ON。驱动电动机正转高速开门，碰到开门减速开关 X001 时，Y001 变为 ON，减速开门。碰到开门极限开关 X002 时电动机停转，开始延时。若在 1s 内感应器检测到无人，则 Y002 变为 ON，起动电动机反转高速关门。碰到关门减速开关 X004 时，Y003 变为 ON，改为减速关门。碰到关门极限开关 X005 时电动机停转。在关门期间若感应器检测到有人停止关门，则 T1 延时 1s 后自动转换为高速开门。

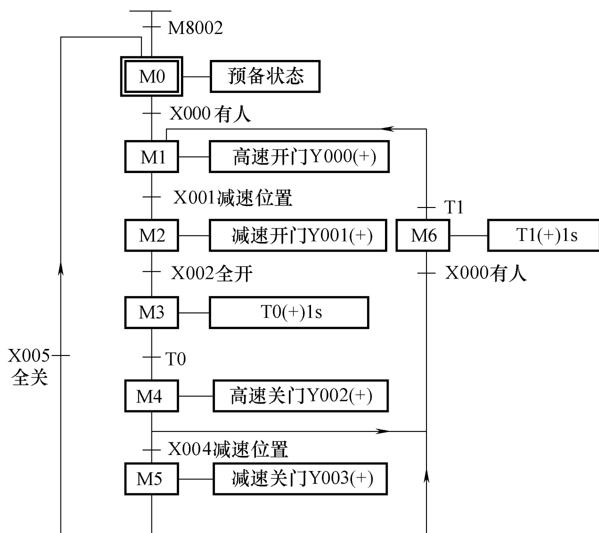


图 5-23　自动门控制系统的顺序功能图

1. 选择序列的分支的编程方法

如果某一步的后面有一个由 N 条分支组成的选择序列，则该步可能转到不同的 N 步中去，应将这 N 个后续步对应的辅助继电器的动断触点与该步的线圈串联，作为结束该步的条件。

在图 5-23 中，步 M4 之后有一个选择序列的分支，当它的后续步 M5、M6 变为活动步时，它应变为不活动步，所以需将 M5 和 M6 的动断触点与 M4 的线圈串联。同样 M5 之后也

有一个选择序列的分支，处理方法同前。

2. 选择序列合并的编程方法

对于选择序列的合并，如果每一步之前有 N 个转换（即有 N 条分支在该步之前合并后进入该步），则代表该步的辅助继电器的启动电路由 N 条支路并列而成，各支路由某一前级步对应的辅助继电器的动合触点与相应转换条件对应的触点或电路串联而成。

在图 5-23 中，步 M1 之前有一个选择序列的合并，当步 M0 为活动步并且转换条件 X000 满足，或 M6 为活动步并且转换条件 T1 满足时，步 M1 都应变为活动步，即控制 M1 的起、保、停电路的启动条件应为 M0 和 X000 的动合触点串联电路与 M6 和 T1 的动合触点串联电路进行并联。

图 5-24 所示为自动门控制系统梯形图。

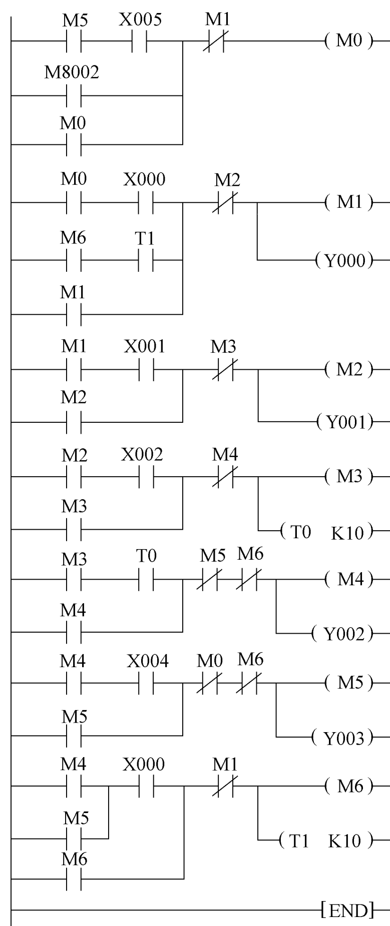


图 5-24　自动门控制系统梯形图

5.3.3　使用起、保、停电路的并行序列结构的编程方法

1. 并行序列的分支的编程方法

并行序列中各单序列中的第一步应同时变为活动步。对控制这些步的起、保、停电路使用相同的启动电路，可以实现这一要求。图 5-25 中 M2 之后有一个并行序列的分支，当步 M2 为活动步时，并且转换条件 X000 = 1 时，步 M3 和步 M5 同时变为活动步，即 M2 和 X000 的动合触点串联电路同时作为控制步 M3 和步 M5 的启动电路。

2. 并行序列的合并的编程方法

图 5-25 中步 M7 之前有一个并行序列的合并，该转换实现的条件是所有的前级步（即步 M4 和步 M6），都是活动步且转换条件 X003 = 1 满足。由此可知，应将 M4、M6 和 X003 的动合触点串联，作为控制步 M7 的启动电路。

5.3.4　以转换为中心的编程方法

1. 以转换为中心的单序列编程方法

图 5-26 给出了以转换为中心的编程方法的顺序功能图和梯形图的对应关系。实现图 5-26中 X002 对应的转换需要同时满足两个条件，即该转换的前级步是活动步（M2 = 1）和转换条件满足（X002 = 1）。在梯形图中，可以用 M2 和 X002 的动合触点组成的串联电路来表示上述条件。该电路接通时，两个条件同时满足，此时应完成两个操作，即将该转换的后续步变为活动步（用 SET M3 指令将 M3 置位）和将该转换的前级步变为不活动步（用 RST M2 指令将 M2 复位）。这种编程方法与转换实现的基本原则之间有着严格的对应关系，用它编制复杂的顺序功能图的梯形图时，更能显示出它的优越性。

如图 5-27 所示，两条运输带顺序相连，为了避免运送的物料在 2 号运输带上堆积，按下起动按钮后，2 号运输带开始运行，5s 后 1 号运输带自动起动。停机的顺序与起动的顺序刚好相反，间隔仍然为 5s。图 5-27 同时给出了控制系统的顺序功能图和梯形图。

在顺序功能图中，如果某一转换所有的前级步都是活动步并且相应的转换条件满足，则转换可实现。即所有由有向连线与相应转换符号相连的后续步都变为活动步，而所有由有向连线与相应转换符号相连的前级步都变为不活动步。在以转换为中心的编程方法中，用该转换所有前级步对应的辅助继电器的动合触点与转换对应的触点或电路串联，作为使所有后续步对应的辅助继电器置位（使用 SET 指令）和使所有前级步对应的辅助继电器复位（使用 RST 指令）的条件。在任何情况下，代表步的辅助继电器的控制电路都可以用这一原则来设计，每一个转换对应一个这样的控制置位和复位的电路块，有多少个转换就有多少个这样的电路块。这种设计方法特别有规律，在设计复杂的顺序功能图的梯形图时既容易掌握，又不容易出错。

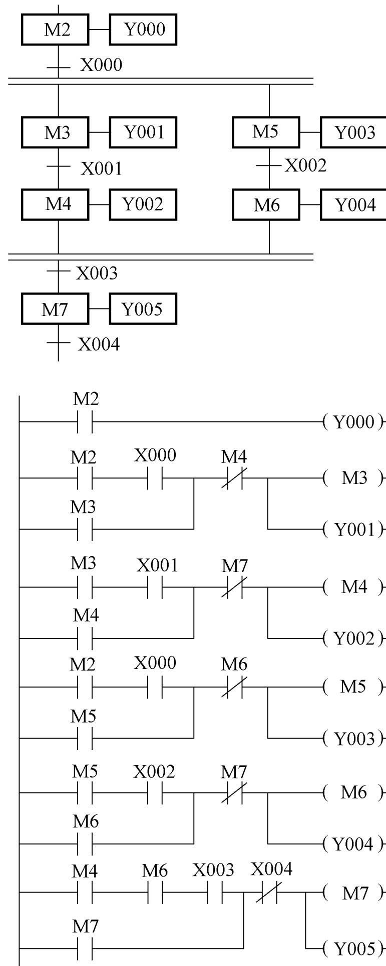


图 5-25　并行序列功能图和梯形图

使用这种编程方法时，不能将输出继电器的线圈与 SET 和 RST 指令并联，这是因为梯形图中前级步和转换条件对应的串联电路接通时间是相当短的（只有一个扫描周期），转换条件满足后前级步马上被复位，在下一扫描周期控制置位、复位的串联电路被段开，而输出继电器的线圈至少应该在某一步对应的全部时间内被接通。所以应根据顺序功能图，用代表步的辅助继电器的动合触点或它们的并联电路来驱动输出继电器的线圈。

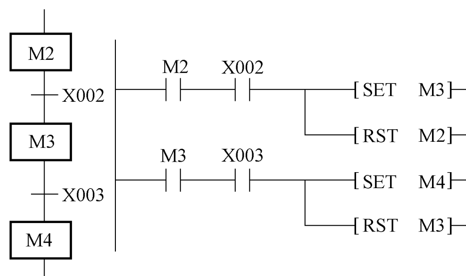


图 5-26　以转换为中心的编程方式

2. 以转换为中心的选择序列编程方法

如果某一转换与并行序列的分支、合并无关，那么它的前级步和后续步都只有一个，需要复位、置位的辅助继电器也只有一个，因此对选择序列的分支与合并的编程方法实际上与对单序列的编程方法完全相同。

图 5-24 是图 5-23 自动门控制系统顺序功能图的梯形图。每一个控制置位、复位的电路

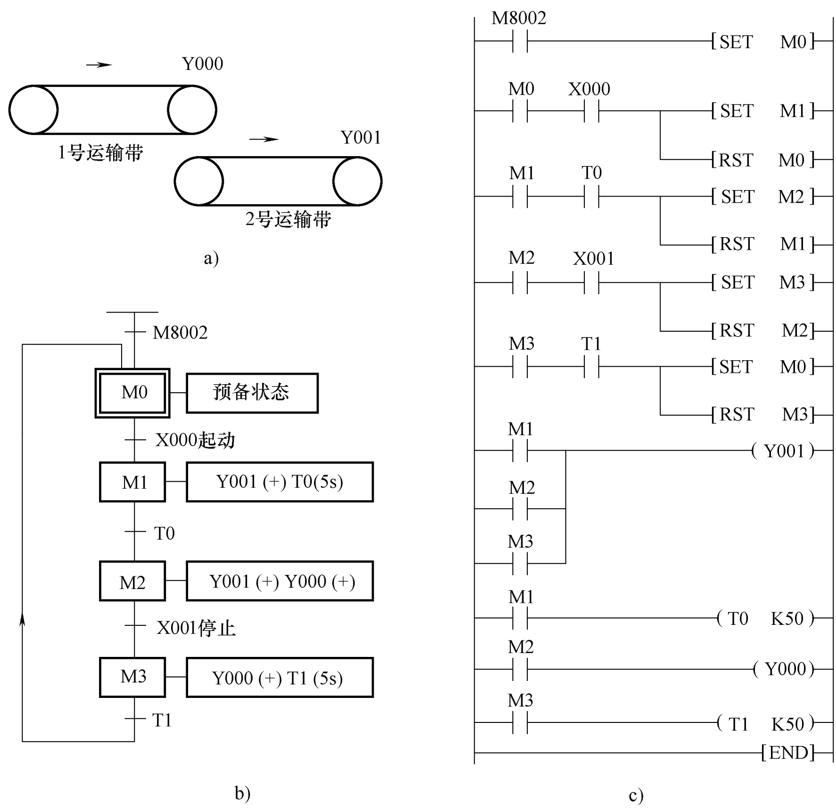


图 5-27　传送带控制系统的顺序功能图和梯形图

块都由前级步对应的辅助继电器的动合触点和转换条件对应的动合触点组成的串联电路、一条 SET 指令及一条 RST 指令组成。

3. 并行序列的编程方法

组合机床是针对特定工件和特定加工要求设计的自动化加工设备，通常由标准通用部件和专用部件组成，PLC 是组合机床电气控制系统中的主要控制设备。

用于双面钻孔的组合机床在工件相对的两面钻孔，机床由动力滑台提供进给运动，刀具电动机固定在动力滑台上。工件装入夹具后，按下起动按钮 X000，工件被夹紧，限位开关 X001 变为 ON，并行序列中两个子序列的起始步 M2 和 M6 变为活动步，两侧的左、右动力滑台同时进行快速进给、工作进给和快速退回的加工循环，同时刀具电动机也起动工作。两侧的加工均完成后，系统进入步 M10，工件被松开，限位开关 X010 变为 ON，系统返回初始步 M0，动力滑台返回原位，一次加工的工作循环结束。

在图 5-28 所示并行序列中的两个子序列分别用来表示左、右侧滑台的进给运动，两个子序列应同时开始工作并同时结束。实际上左、右滑台的工作是先后结束的，为了保证并行序列中的各子序列同时结束，在各子序列的末尾增设了一个等待步（即步 M5 和 M9），它们没有什么操作。如果两个子序列分别进入了步 M5 和 M9，则表示两侧滑台的快速退回均已结束（限位开关 X004 和 X007 均已动作），应转换到步 M10，将工件松开。因此步 M5 和

M9 之后的转换条件为“=1”，表示应无条件转换。在梯形图中，该转换可等效为一根短接线，或理解为不需要转换条件。

图 5-28 中步 M1 之后有一个并行序列的分支，当 M1 是活动步，并且转换条件 X001 满足时，步 M2 与步 M6 应同时变为活动步，这是用 M1 和 X001 的动合触点组成的串联电路使 M2 和 M6 同时置位来实现的；与此同时，步 M1 应变为不活动步，这是用复位指令来实现的。

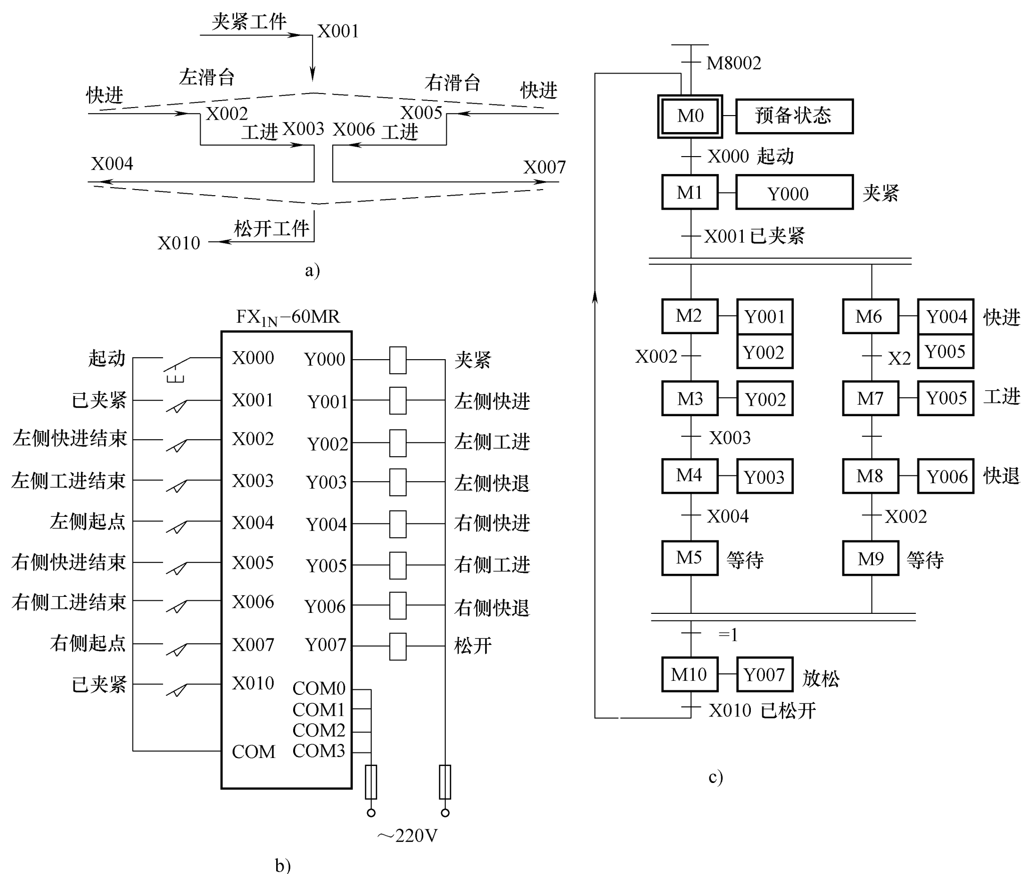


图 5-28　并行序列的编程的双面钻孔组合机床工作示意图、控制系统的外部接线图和顺序功能图
a）双面钻孔组合机床工作示意图　b）双面钻孔组合机床控制系统外部接线图　c）组合机床控制系统的顺序功能图

步 M10 之前有一个并行序列的合并，该转换实现的条件是所有的前级步（即步 M5 和 M9）都是活动步。因为转换条件是“=1”，即不需要转换条件，只需将 M5 和 X009 的动合触点串联，作为使 M10 置位和使 M5、M9 复位的条件，其梯形图如图5-29所示。

如图 5-30 所示，转换的上面是并行序列的合并，转换的下面是并行序列的分支，该转换实现的条件是所有的前级步（即步 M3 和 M7）都是活动步和转换条件 X011 满足。由此可知，应将 M3、M7、X011 的动合触点的串并联电路作为使 M4、M8 置位和使 M3、M7 复位的条件。

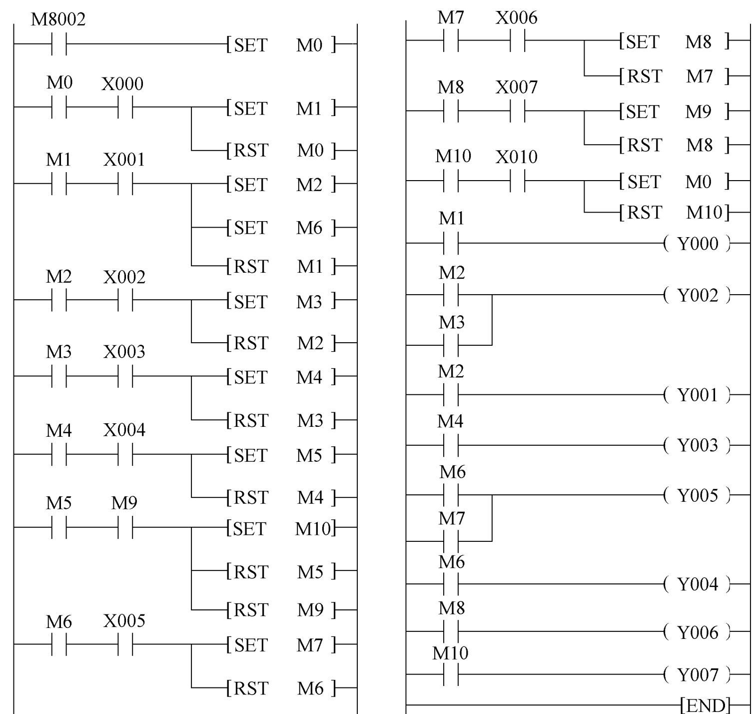


图 5-29　并行序列的编程的组合机床控制系统的梯形图

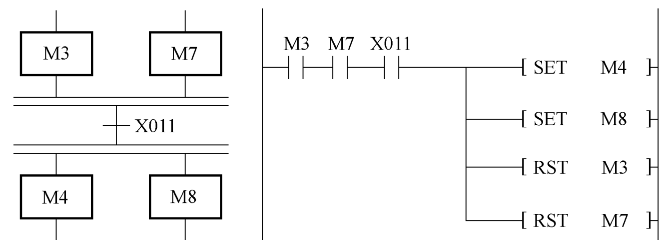


图 5-30　转换同步实现的编程

5.4　步进指令和步进梯形图

FX 系列 PLC 内置有利用状态转移图的顺控功能。从状态转移图可编制指令表程序，而相反可从指令或梯形图表示的程序转变为状态转移图，该指令是步进梯形图指令（STL ）。

5.4.1　步进指令

每一个状态都有一个控制元件来控制该状态是否动作，以保证在顺序控制过程中生产过程有秩序地按步进行，所以顺序控制也称为步进控制。步进指令（STL/RET）是专为顺序控制而设计的指令。在工业控制领域许多控制过程都可用顺序控制的方式来实现，使用步进

指令实现顺序控制既方便实现又便于阅读修改。

许多 PLC 都有专门用于编制顺序控制程序的步进梯形指令及编程元件。

步进梯形指令简称为 STL 指令，FX 系列 PLC 还有一条使 STL 指令复位的 RET 指令。利用这两条指令，可以很方便地编制顺序控制梯形图程序，见表 5-4。

表 5-4　FX 系列 PLC 步进指令

助记符、名称	功能	回路表示和可用软元件	程序步
STL(步进)	步进梯形图开始	┤STL├ ┤├——( )	1
RET(返回)	步进梯形图结束	——[RET]	1

步进梯形指令 STL 只有与状态继电器 S 配合才具有步进功能。S0～S9 用于初始步，S10～S19 用于自动返回原点。使用 STL 指令的状态继电器的常开触点称为 STL 触点，用符号—[ ][ ]—或—┤ STL ├—表示，没有动断的 STL 触点。

STL 指令的用法如图 5-31 所示，从图中可以看出顺序功能图与梯形图之间的关系。用状态继电器表示顺序功能图的步，每一步都具有三种功能：负载的驱动处理、指定转换条件和指定转换目标。

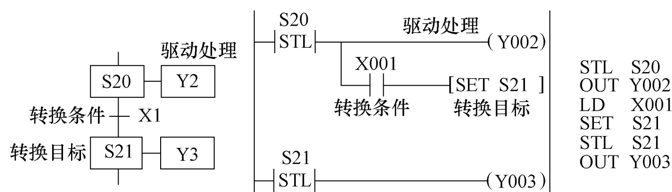


图 5-31　STL 指令

图 5-31 中 STL 指令的执行过程是：当步 S20 为活动步时，S20 的 STL 触点接通，负载 Y002 输出。如果转换条件 X001 满足，后续步 S21 被置位变成活动步，同时前级步 S20 自动断开变成不活动步，输出 Y002 也断开。

使用 STL 指令使新的状态置位，前一状态自动复位。STL 触点接通后，与此相连的电路被执行；当 STL 触点断开时，与此相连的电路停止执行。

在主机的状态开关由 STOP 状态切换到 RUN 状态时，可用初始化脉冲 M8002 来将初始状态继电器置为 ON，可用区间复位指令（ZRST）来将除初始步以外的其余各步的状态继电器复位。

步进接点只有动合触点，没有动断触点。步进接通需要 SET 指令进行置 1，步进接点闭合，将左母线移动到临时左母线，与临时左母线相连的触点用 LD、LDI 指令，如图 5-32 所示。在每条步进指令后不必都加一条 RET 指令，只需在连续的一系列步进指令的最后一条的临时左母线后接一条 RET 指令返回原左母线，且必须有这条指令。

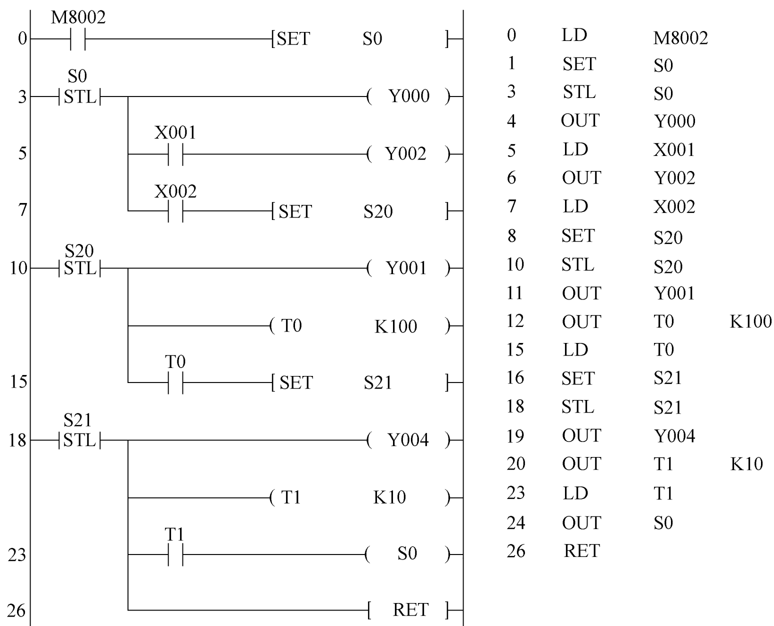


图 5-32　顺序功能图与步进梯形图

5.4.2　步进指令的使用说明

使用步进指令编程时需要注意下面几点：

1）状态继电器 S 只有在使用 SET 指令后才具有步进控制功能，提供步进触点。STL 触点是与左侧母线相连的动合触点，具有主控和跳转作用。某 STL 触点接通，则对应的状态为活动步，同一状态继电器的 STL 触点只能使用一次（除了并行序列的合并）。

2）与 STL 触点相连的起始触点要使用 LD、LDI 指令。使用 STL 指令后，LD 触点移至 STL 触点右侧，一直到出现下一条 STL 指令或者出现 RET 指令后才返回左侧母线；STL 指令和 RET 指令是一对步进梯形（开始和结束）指令。在一系列步进梯形指令 STL 之后加上 RET 指令，表明步进梯形指令功能的结束，LD 触点返回到原来母线。

3）STL 触点可直接驱动或通过别的触点驱动 Y、M、S、T 等元件的线圈；状态继电器可做辅助继电器使用，与辅助继电器 M 用法相同。

4）由于 PLC 只执行活动步对应的电路块，梯形图中同一元件的线圈可以被不同的 STL 触点驱动，所以使用 STL 指令时允许双线圈输出（顺控程序在不同的步可多次驱动同一线圈）。

5）STL 触点驱动的电路块中不能使用 MC 和 MCR 指令，但可以使用 CJ 指令；STL 触点右边不能使用入栈（MPS）指令。在状态内，不能从 STL 临时左母线位置直接使用 MPS/MRD/MPP 指令。

6）在中断程序和子程序内，不能使用 STL 指令。

7）STL 指令仅对状态继电器有效，当状态继电器不作为 STL 指令的目标元件时，就具有一般辅助继电器的功能。

8）状态继电器不仅在状态转移图中使用，也可以按编号顺序使用，也可以任意，但建

议按顺序使用。

9）状态的动作与输出的重复使用：状态的地址号不能重复使用；如果 STL 触点接通，则与其相连的电路动作；如果 STL 触点断开，则与其相连的电路停止动作。如图 5-33 所示，在不同的步之间可给同一软元件编程。

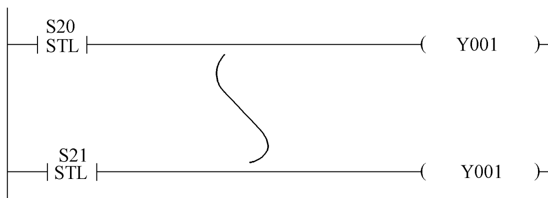


图 5-33　状态的动作与输出的重复使用

10）输出的联锁：在状态转移过程中，仅在瞬间（一个扫描周期）两种状态同时接通，因此为了避免一对输出同时接通，需要设置联锁，如图 5-34 所示。

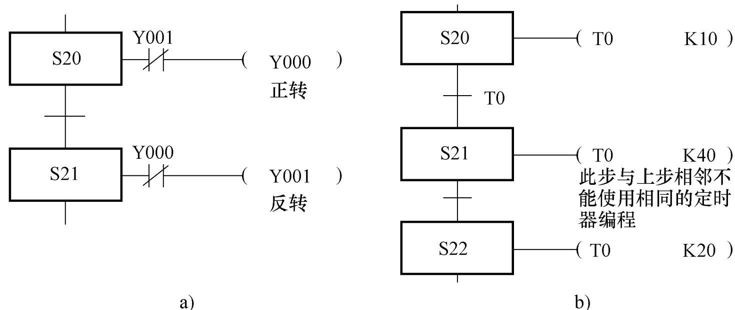


图 5-34　输出的联锁

a）输出的联锁程序　b）定时器相邻时不能编程

11）定时器的重复使用：定时器线圈与输出线圈一样，也可对在不同状态下的同一软元件进行编程，但是在相邻的状态中不能编程。如果在相邻的状态下编程，则步进状态转移时定时器线圈不断开，当前值不能复位；如果不是相邻的两个状态，则可以使用同一个定时器，如图 5-34 所示。

5.4.3　状态转移图与梯形图的转换

应用步进指令编程时一般需要下面几个步骤：

1）分析工艺过程；

2）分配 I/O 点，列出 I/O 分配表；

3）画出 PLC 接线图；

4）根据工艺要求分析的结果，画出顺序控制的状态转移图；

5）状态转移图转换成梯形图或指令语句表；

6）输入程序到 PLC；

7）运行调试。

状态转移图用梯形图表示的方法如下：

1）控制元件：梯形图中画出状态继电器的步进触点；

2）状态所驱动的对象：依照状态转移图画出；

3）转移条件：转移条件用来 SET 下一个步进触点；

4）转移方向：往哪个方向转移，就是 SET 置 1 的步进触点控制元件。

例如，如图 5-35 所示，当利用 SET 指令将状态继电器置 1 时，步进触点闭合，此时顺序控制就进入该步进触点所控制的状态。当转移条件满足时，利用 SET 指令将下一个状态控制元件（即状态继电器）置 1 后，上一个状态继电器（上一工步）自动复位，而不必采用 RST 指令复位。

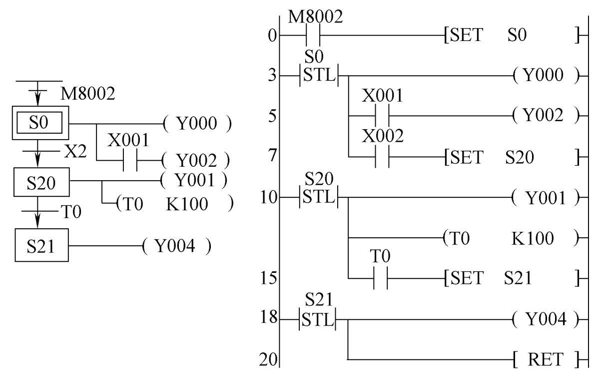


图 5-35　顺序功能图与步进梯形图

5.5　步进梯形指令的应用

步进梯形指令是专为顺序控制而设计的，在顺序控制系统中使用步进梯形指令是相当方便的。本节内容将通过实际例子进一步理解步进顺序控制。

5.5.1　步进梯形指令的单序列结构的编程

下面是单流程状态转移图的编程实例。

【例 5-1】　运料小车自动循环的控制过程如图 5-36 所示，小车运动系统的一个周期由 5 步组成。它们可分别对应 S0、S20～S23，步 S0 代表初始步，其顺序功能图和梯形图如图 5-37 所示。

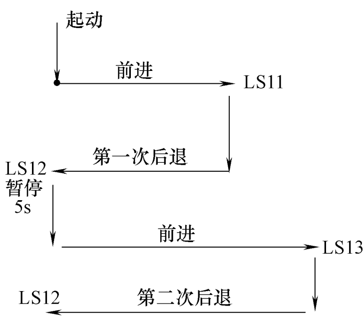


图 5-36　运料小车自动循环的控制过程

梯形图对应的指令表如下：

0	LD	M8002	13	SET	S21	26	SET	S23
1	SET	S0	15	STL	S21	28	STL	S23
3	STL	S0	16	OUT	Y000	29	OUT	Y001
4	LD	X000	17	LD	X002	30	LD	X001
5	SET	S20	18	SET	S22	31	OUT	S0
7	STL	S20	20	STL	S22	33	RET	
8	OUT	Y002	21	OUT	Y003	34	END	
9	OUT	T0 K100	22	OUT	T1 K50			
12	LD	T0	25	LD	T1			

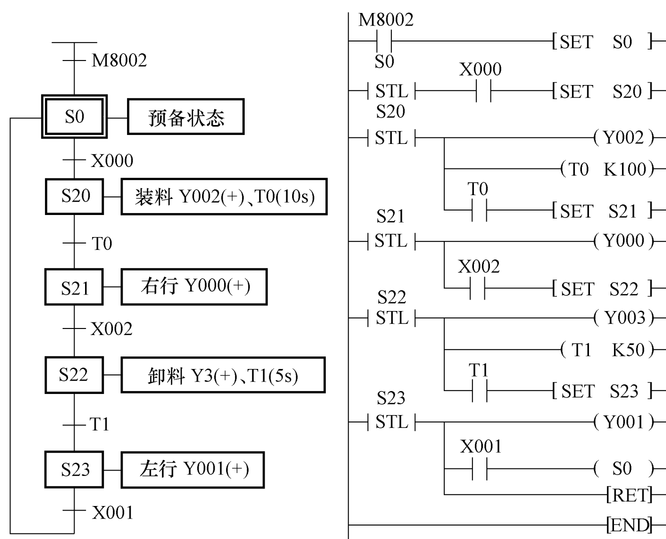


图 5-37　运料小车 STL 指令编程的顺序功能图和梯形图

PLC 上电进入 RUN 状态，初始化脉冲 M8002 的动合触点闭合一个扫描周期，梯形图中第 1 行的 SET 指令将初始步 S0 置为活动步。

在梯形图的第 2 行中，S0 的 STL 触点和 X000 的动合触点组成的串联电路代表转换实现的两个条件。当初始步 S0 为活动步，按下起动按钮 X000 时，转换实现的两个条件同时满足，置位指令 SET S20 被执行，后续步 S20 变为活动步，同时 S0 自动复位为不活动步。

S20 的 STL 触点闭合后，该步的负载被驱动，Y002 变为 ON，打开贮料斗的闸门开始装料，同时用定时器 T0 定时，10s 后关闭贮料斗的闸门，转换条件 T0 = 1 得到满足，下一步的状态继电器 S21 被置位，同时状态继电器 S20 被自动复位。系统将这样依次工作下去，直到最后返回到起始位置，碰到限位开关 X1 时，用 OUT S0 指令使 S0 变为 ON 并保持，系统返回并停在初始步上。

在图 5-37 中梯形图的结束处，一定要使用 RET 指令，使 LD 触点回到左母线上，否则系统将不能正常工作。

【例 5-2】 有一个机械动作如下（见图 5-38）：

1）按下起动按钮台车前进，一直到限位开关 LS11 动作，台车后退；

2）台车后退时，直到限位开关 LS12 动作，停 5s 后再前进，直到限位开关 LS13 动作，台车后退；

3）不久限位开关再动作，这时驱动台车的电动机停止。

解：

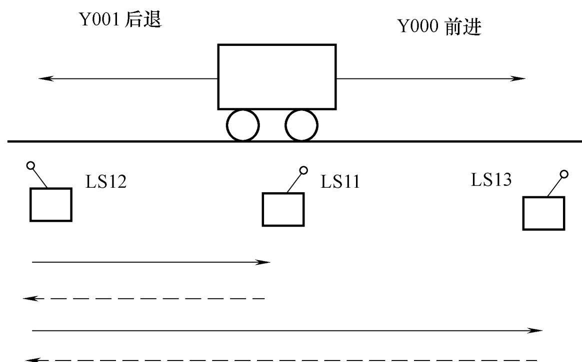


图 5-38　台车机械动作示意图

1）图 5-38 中给出了台车机械动

作的过程，分作两次前进和后腿，进程长度不一样。

2）I/O 分配见表 5-5。

表 5-5　I/O 分配表

输　入		输　出	
启动按钮	X000	前进	Y000
停止按钮	X001	后退	Y001
开关 LS11	X002		
开关 LS12	X003		
开关 LS13	X004		

3）画出 PLC 接线图，如图 5-39 所示。

4）状态转移图程序，如图 5-40 所示。

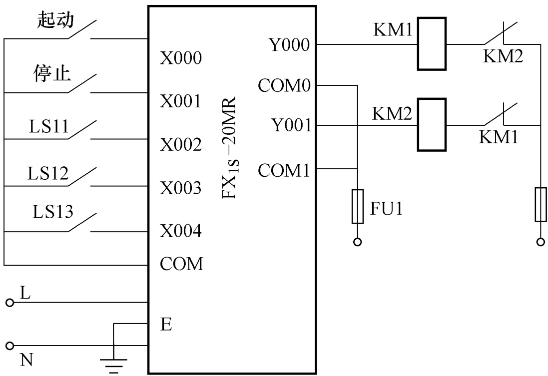


图 5-39　PLC 接线图

5.5.2　步进梯形指令选择序列结构的编程

【例 5-3】　图 5-41 是采用步进梯形指令编程的自动门控制系统的顺序功能图和梯形图。

1. 选择序列分支的编程

图 5-41 中步 S23 之后有一个选择序列的分支。当 S23 为活动步时，如果转换条件 X000 满足，则将转换到步 S25；如果转换条件 X004 满足，则将转换到步 S24。

如果某一步的后面有 *N* 条选择序列的分支，则该步的 STL 触点开始的电路块中应有 *N* 条分别指明各转换条件和转换目标的并联电路。对于图中步 S23 之后的这两条支路，有两个转换条件 X004 和 X000，可能进入步 S24 和 S25，所以在 S23 的 STL 触点开始的电路块中，有两条分别由 X004 和 X000 作为置位条件的串联电路。

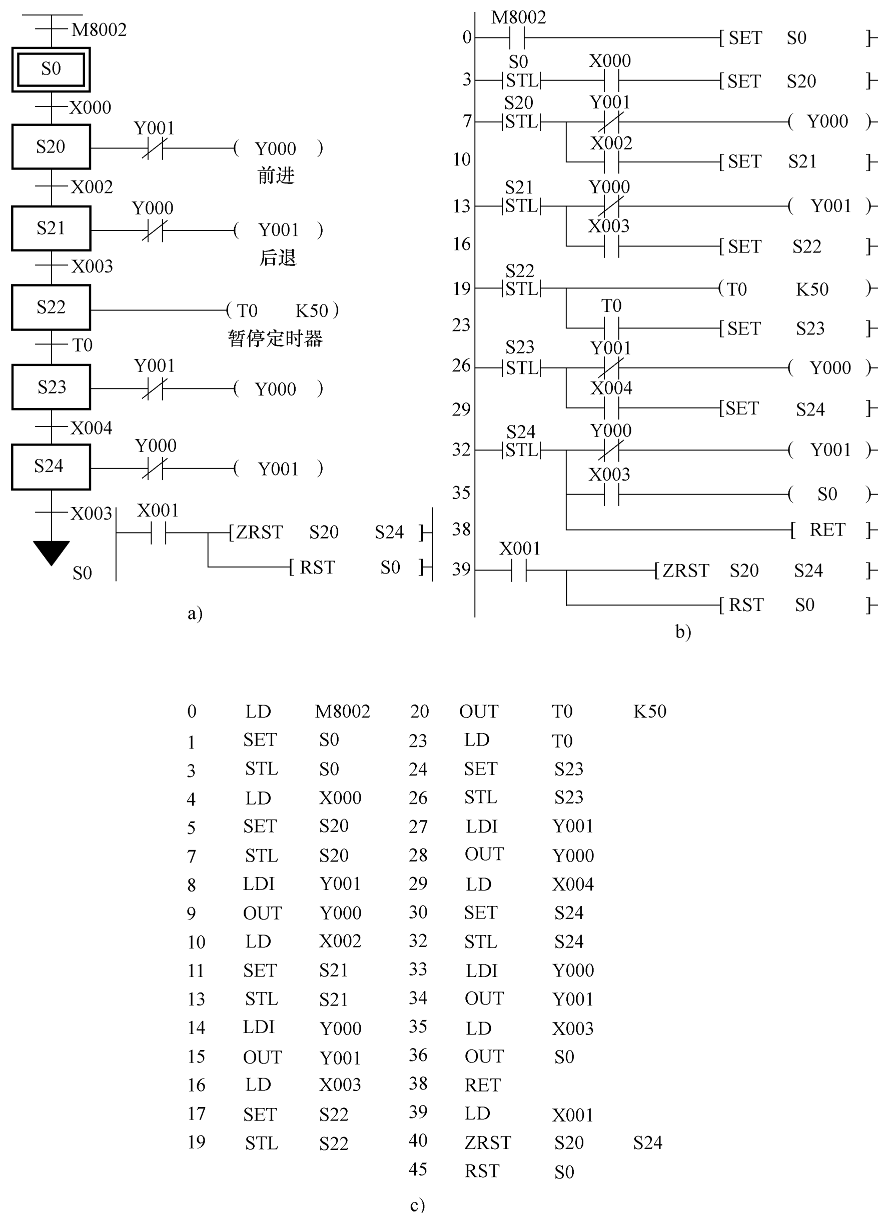
2. 选择序列合并的编程

图 5-41 中步 S20 之前有一个由两条支路组成的选择序列的合并。当 S20 为活动步，转换条件 X000 得到满足时，或者步 S25 为活动步，转换条件 T1 得到满足时，都将使步 S20 变为活动步，同时将步 S0 或步 S25 变为不活动步。

在梯形图中，由 S0 和 S25 的 STL 触点驱动的电路块中均有转换目标 S20，对它们的后续步 S20 的置位是用 SET 指令实现的，对相应的前级步的复位是由系统程序自动完成的。其实在设计梯形图时，没有必要特别留意选择序列的合并如何处理，只要正确的确定每一步的转换条件和转换目标就能自然地实现选择序列的合并。

5.5.3　步进梯形指令并行序列结构的编程

如图 5-42 所示，由 S22、S23 和 S24、S25 组成的两个单序列是并行工作的，设计梯形图时应保证这两个单序列同时开始工作和同时结束，即步 S22 和 S24 应同时变为活动步，步



0	LD	M8002	20	OUT	T0	K50
1	SET	S0	23	LD	T0	
3	STL	S0	24	SET	S23	
4	LD	X000	26	STL	S23	
5	SET	S20	27	LDI	Y001	
7	STL	S20	28	OUT	Y000	
8	LDI	Y001	29	LD	X004	
9	OUT	Y000	30	SET	S24	
10	LD	X002	32	STL	S24	
11	SET	S21	33	LDI	Y000	
13	STL	S21	34	OUT	Y001	
14	LDI	Y000	35	LD	X003	
15	OUT	Y001	36	OUT	S0	
16	LD	X003	38	RET		
17	SET	S22	39	LD	X001	
19	STL	S22	40	ZRST	S20	S24
			45	RST	S0	

c)

图 5-40 状态转移图程序

a）状态转移图 b）梯形图 c）指令表

S23 和 S25 应同时变为不活动步。

并行序列分支的处理是很简单的，在图 5-42 中，当步 S21 是活动步且转换条件 X006 满足时，步 S22 和 S24 同时变为活动步，两个序列同时开始工作。在梯形图中，用 S21 的 STL 触点和 X006 的动合触点组成的串联电路来控制 SET 指令对 S22 和 S24 同时置位，同时系统程序将前级步 S21 变为不活动步。

图 5-42 中并行序列合并处的转换有两个前级步 S23 和 S25，根据转换实现的基本规则，

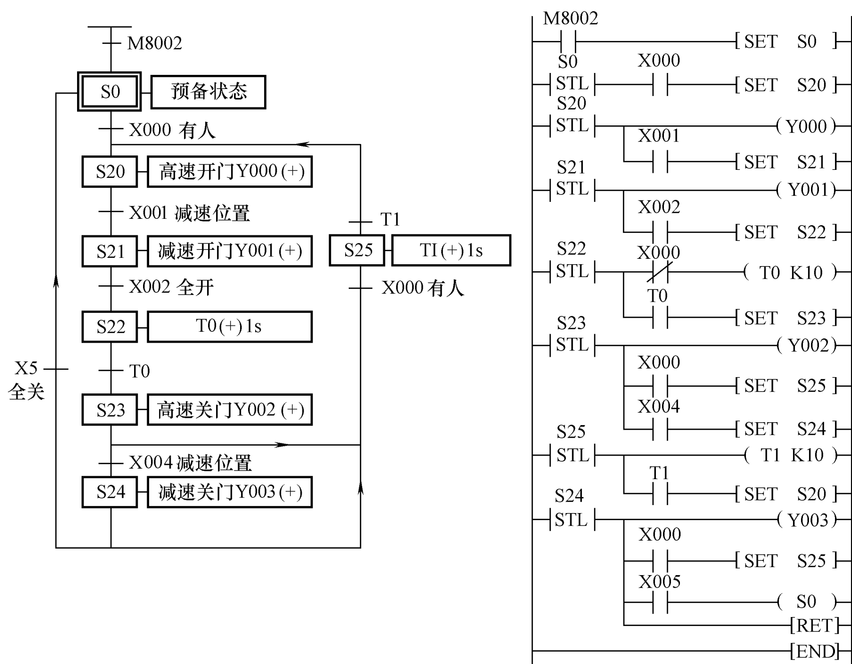


图 5-41　自动门控制系统 STL 指令编程的顺序功能图和梯形图

当它们均为活动步且转换条件满足时，将实现并行序列的合并。在梯形图中，用 S23 和 S25 的 STL 触点及 X003 的动合触点组成的串联电路使步 S26 置位变为活动步，同时系统程序将两个前级步 S23 和 S25 变为不活动步。

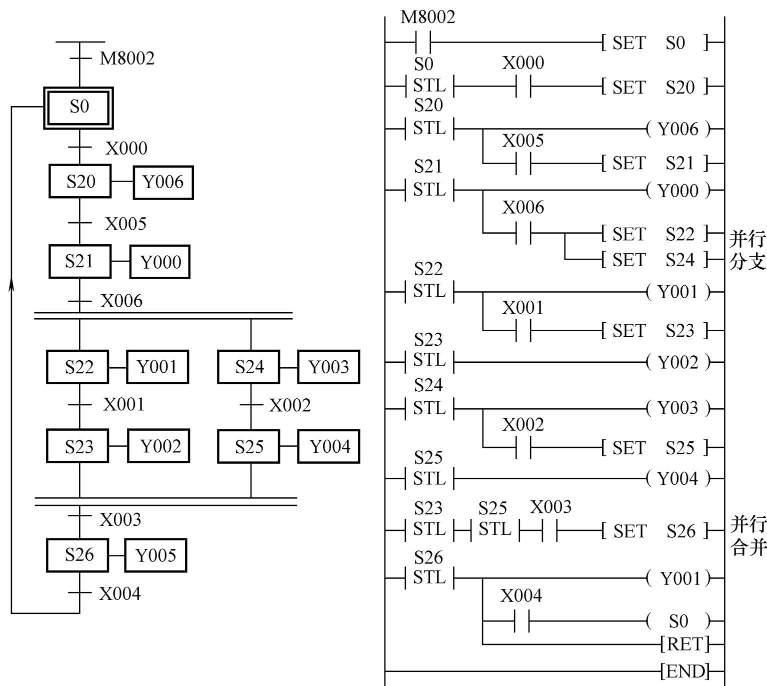


图 5-42　STL 指令编程并行序列的顺序功能图和梯形图

5.6 步进顺序控制编程实例

5.6.1 简易机械手的控制

简易机械手的工作示意图，如图 5-43 所示，其运动示意图如图 5-44 所示。

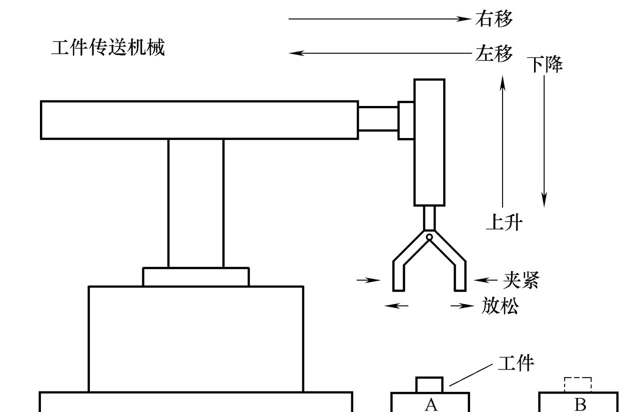


图 5-43 简易机械手工作示意图

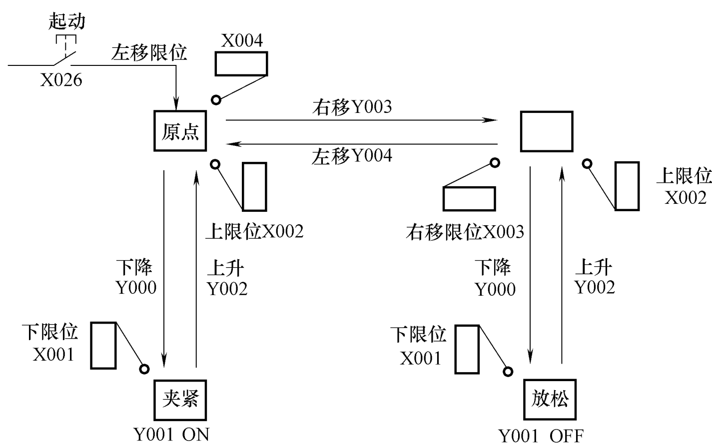


图 5-44 简易机械手运动示意图

机械手将工件从 A 点向 B 点传送。机械手的上升、下降与左移、右移都是由双线圈两位电磁阀驱动气缸来实现的。抓手对工件的松夹是由一个单线圈两位电磁阀驱动气缸完成的，只有在电磁阀通电时抓手才能夹紧。该机械手工作原点在左上方，按下降、夹紧、上升、右移、下降、松开、上升、左移的顺序依次运动。它有手动、单步、一个周期和连续工作（自动）四种操作方式。

简易机械手的操作面板如图 5-45 所示。工作方式选择开关分四挡与四种方式对应，上升、下降、左移、右移、放松、夹紧几个步序一目了然。

下面就操作面板上标明的几种工作方式说明一下：

手动方式：是指用各自的按钮使各个负载单独接通或断开。

回原点：按下此按钮，机械手自动回到原点。

单步运行：按动一次起动按钮，前进一个工步。

单周期运行（半自动）：在原点位置按动起动按钮，自动运行一遍后回到原点停止。

若在中途按动停止按钮，则停止运行；再按起动按钮，从断点处继续运行，回到原点处自动停止。

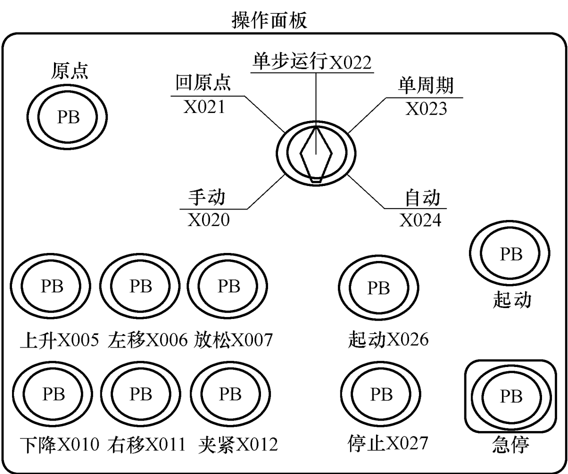


图 5-45　简易机械手操作面板

连续运行（全自动）：在原点位置按动起动按钮，连续反复运行。若在中途按动停止按钮，则运行到原点后停止。

面板上的起动和急停按钮与 PLC 运行程序无关，这两个按钮用来接通和断开 PLC 外部负载的电源。

机械手顺控程序编写如下：

1. 初始化程序

FX 系列 PLC 的状态初始化指令 IST 的功能指令编号为 FNC60，它与 STL 指令一起使用，专门用来设置有多种工作方式的控制系统的初始状态和设置有关的特殊辅助继电器的状态，可以大大简化复杂的顺序控制程序的设计。IST 指令只能使用一次，它应放在程序开始的地方，被它控制的 STL 电路应放在它的后面。

该系统的初始化程序如图 5-46 中的左图上两行所示，用来设置初始状态和原点位置条件。IST 指令中的 S20 和 S27 用来指定在自动操作中用到的最小和最大状态继电器的元件号，IST 中的源操作数可取 X、Y 和 M，图中 IST 指令的源操作数 X020 用来指定与工作方式有关的输入继电器的首元件，它实际上指定从 X020 开始的 8 个输入继电器，这 8 个输入继电器的意义见表 5-6。

表 5-6　输入继电器功能对照表

输入继电器 X	功能	输入继电器 X	功能
X020	手动	X024	连续运行
X021	回原点	X025	回原点起动
X022	单步运行	X026	自动起动
X023	单周期运行	X027	停止

X020～X024 中同时只能有一个处于接通状态，必须使用选择开关，以保证这 5 个输入不可能同时为 ON。

IST 指令的执行条件满足时，初始状态继电器 S0～S2 和下列特殊辅助继电器被自动指定的功能见表 5-7，以后即使 IST 指令的执行条件变为 OFF，这些元件的功能仍保持不变。

表 5-7　特殊辅助继电器、状态继电器功能对照表

特殊辅助继电器 M	功能	状态继电器 S	功能
M8040	禁止转换	S0	手动操作初始状态继电器
M8041	转换起动	S1	回原点初始状态继电器
M8042	起动脉冲	S2	自动操作初始状态继电器
M8043	回原点完成		
M8044	原点条件		
M8047	STL 监控有效		

如果改变了当前选择的工作方式，在“回原点方式”标志 M8043 变为 ON 之前，所有的输出继电器将变为 OFF。

2. 手动方式程序

手动方式程序如图 5-46 左边第 3 行所示，S0 为手动方式的初始状态，手动方式的夹紧、放松、上升、下降、左移、右移是由相应的按钮来完成的。

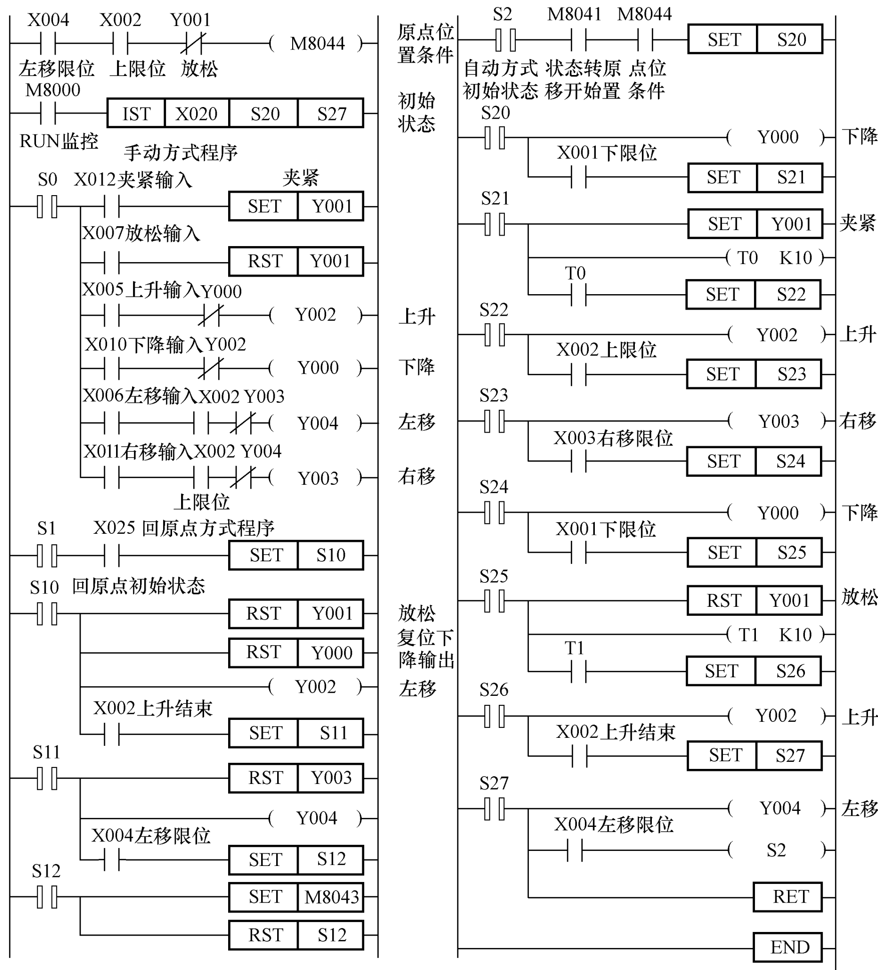


图 5-46　简易机械控制系统梯形图

3. 原点方式程序

回原点方式的功能图如图 5-47 所示，S1 是回原点的初始状态。自动返回原点结束后，M8043（回原点完成）置 ON。返回原点的顺序功能图中的步应使用 S10 ~ S19。

4. 自动方式程序

自动方式程序的顺序功能图如图 5-48 所示。特殊辅助继电器 M8041（转换起动）和 M8044（原点位置条件）是从自动程序的初始步 S2 转换到下一步 S20 的转换条件。M8041 和 M8044 都是在初始化程序中设定的，在程序运行中不再改变。使用 IST 指令后，系统的手动、自动、单周期、单步、连续和回原点这几种工作方式的切换是由系统程序自动完成的，但必须按照前述规定安排 IST 指令中指定的控制工作方式用的输入继电器 X020 ~ X027 的元件号顺序。

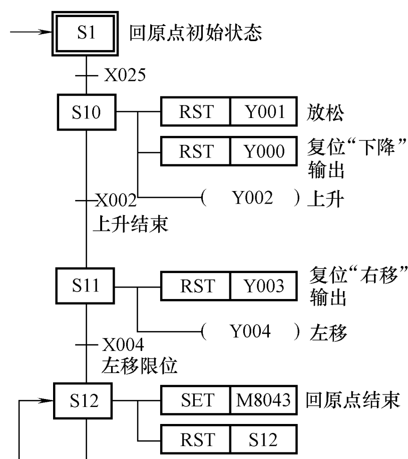


图 5-47　回原点方式顺序功能图

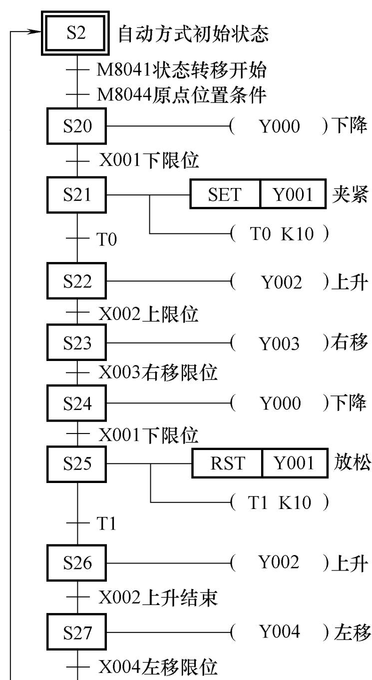
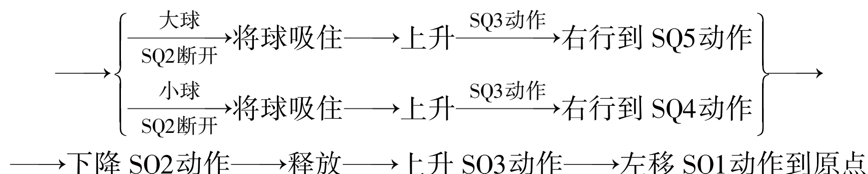


图 5-48　自动方式顺序功能图

和简易机械手控制过程类似，下面是分拣系统控制实例。

在生产过程中，经常要对流水线上的产品进行分捡，图 5-49 所示为用于分捡大、小球的机械装置。它的工作顺序是向下，抓住球，向上，向右运行，向下，释放，向上和向左运行至左上点（原点）抓球和释放球的时间均为 1s。

其动作顺序如下：左上为原点，机械臂下降（当碰铁压着的是大球时，限位开关 SQ2 断开；而压着的是小球时 SQ2 接通，以此可以判断是大球还是小球）。左、右移分别由 Y004、Y003 控制，上升、下降分别由 Y002、Y000 控制，将球吸住由 Y001 控制。



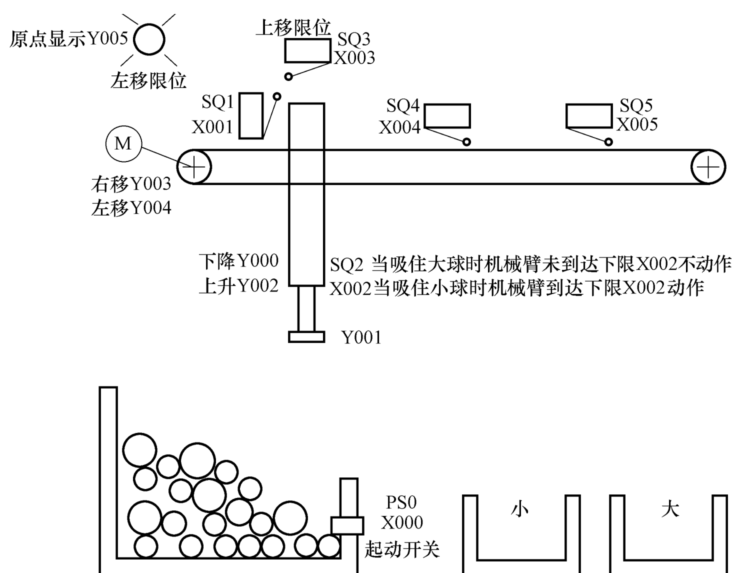


图 5-49　大、小球分类选择传送装置示意图

1）系统的输入点分配：X001 为左限位开关，X002 为下限位开关（小球动作、大球不动作），X003 为上限位开关，X004 为释放小球的中间位置开关，X005 是释放大球的右限位开关，X000 为系统的运行开关。系统的输出点分配是：Y000 是机械臂下降，Y002 是机械臂上升，Y001 是吸球口，Y003 是机械臂右移，Y004 是机械臂左移，Y005 是机械臂停在原点的指示灯。其硬件连接如图 5-50 所示。

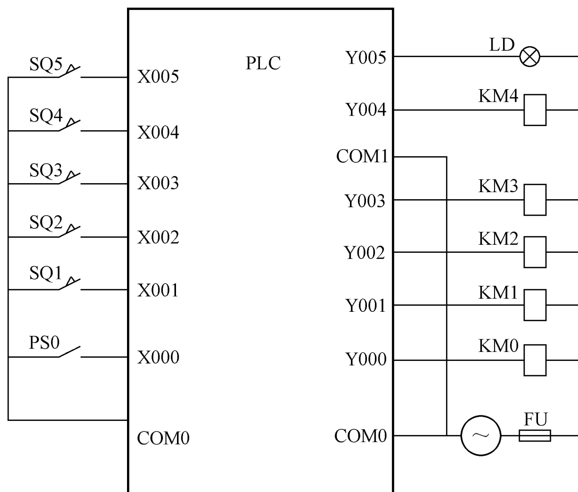


图 5-50　分拣系统硬件连接图

2）程序：根据工艺要求，该控制流程可根据 SQ2 的状态（即对应大、小球）有两个分支，此处应为分支点，且属于选择性分支。分支在机械臂下降之后根据 SQ2 的通断，分别将球吸住、上升、右行到 SQ4 或 SQ5 处下降，此处应为汇合点，然后再释放、上升、左移到原点。其状态转移图如图 5-51 所示。

5.6.2　气动机械手的控制

气动机械手的任务大多数是搬运物品或器件，并且快速准确。如图 5-52 所示，将传送带 A 上的物品搬至传送带 B 上，把电子器件取来送至印制电路板，按规定的动作和规律运行。

控制要求为：传送带 A 为步进式传送，每当机械手从传送带上取走一个物品时，该传送带向前步进一段距离，将使机械手在下一个工作循环取到物品。传送带 A、B 分别由电动

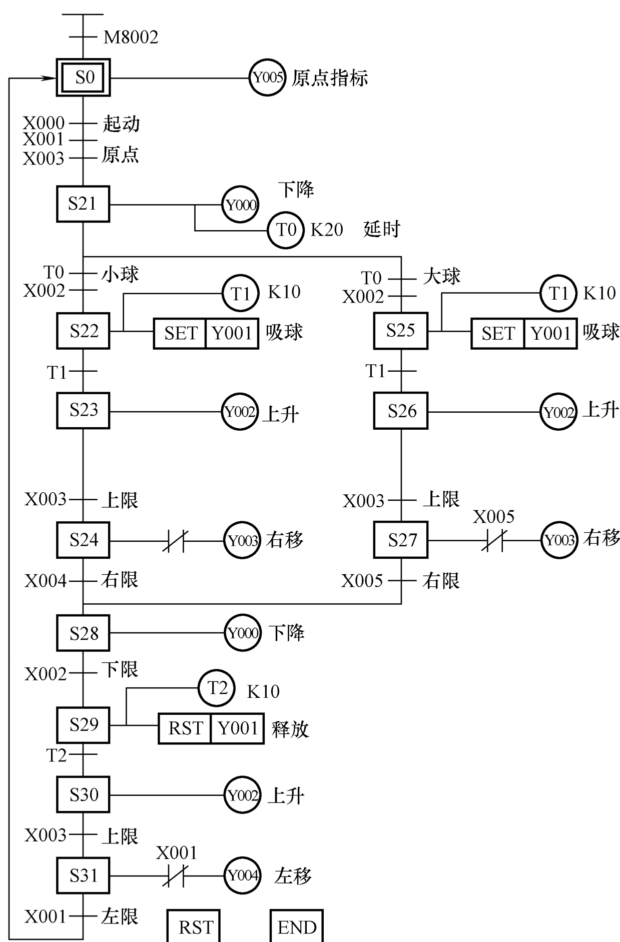


图 5-51　分拣系统控制状态转移图

机 M1、M2 驱动，机械手回转运动由气动阀 Y001、Y002 控制，机械手的上、下运动由气动阀 Y003、Y004 控制，机械手的夹紧与放松由气动阀 Y005 控制。右旋到位信号为 SQ1，左旋到位信号为 SQ2，上升到位信号为 SQ3，下降到位信号为 SQ4。

图 5-52　气动机械手搬运物品工作示意图

1）机械手在原始位置时 SQ1 动作，按下起动按钮，机械手松开，传送带 B 开始运动，机械手手臂开始上升。

2）机械手上升到上限位置，SQ3 动作，上升动作结束，机械手开始左转。

3）机械手左旋到左限位，SQ2 动作，左旋动作结束，机械手开始下降。

4）机械手下降到下限位置，SQ4 动作，下降动作结束，传送带 A 起动。

5）传送带 A 向机械手方向前进一个物品的距离后停止，机械手开始抓物。

6）机械手抓物，延时 1s，机械手开始上升。

7）机械手上升到上限位置，SQ3 动作，上升动作结束，机械手开始右旋。

8）机械手右旋到右限位置，SQ1 动作，右旋动作结束，机械手开始下降。

9）机械手下降到下限位置，SQ4 动作，机械手松开，放下物品。

10）机械手放下物品经过适当延时，一个工作循环过程完毕。

11）机械手的工作方式：单步/循环。

解：

1）分析工艺过程如控制要求。确定 I/O 点数并分配，见表 5-8。

表 5-8　I/O 点数分配表

输　入			输　出		
SQ1	X000	回转缸磁性开关	YV1	Y001	气缸右转
SQ2	X001		YV2	Y002	气缸左转
SQ3	X002	手臂上升/下降气缸磁性开关	YV3	Y003	手臂上升
SQ4	X003		YV4	Y004	手臂下降
开关 0	X004	单步	YV5	Y005	夹紧与放松
开关 1	X005	循环	M1	Y000	传送带 A
开关 2	X006	手动起动	M2	Y006	传送带 B
开关 3	X007	手动复位			
开关 4	X010	手动到原点			
开关 5	X011	紧急停止			

2）根据 I/O 点数分配表，PLC 接线图如图 5-53 所示。

3）顺序功能图和指令语句表程序如图 5-54 和图 5-55 所示。

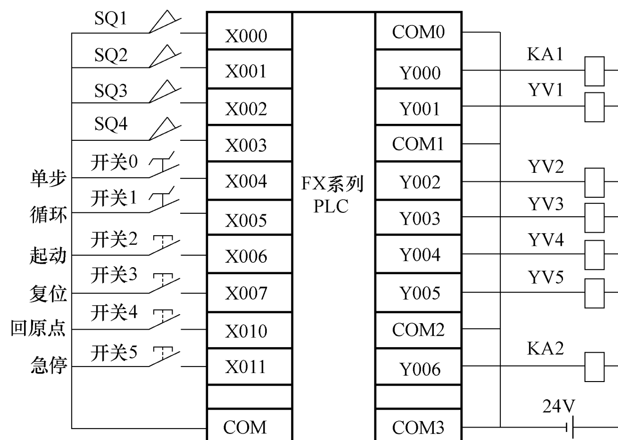


图 5-53　气动机械手的 PLC I/O 点电气接线图

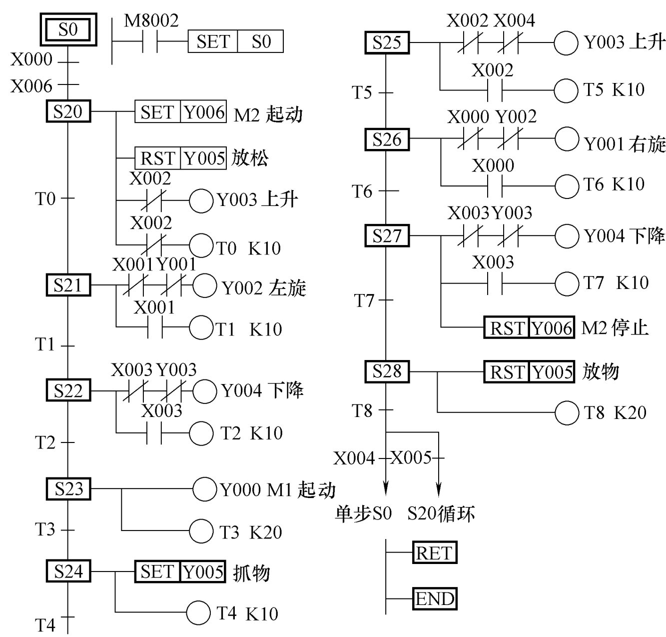


图 5-54　气动机械手的 PLC 顺序功能图

LD	M8002	LD	X001	OUT	T4	STL	S27
SET	S0	OUT	T1		K10	LDI	X003
STL	S0		K10	LD	T4	ANI	Y003
LD	X000	LD	T1	SET	S25	OUT	Y004
AND	X006	SET	S22	STL	S25	LD	X003
SET	S20	STL	S22	LDI	X002	OUT	T7
STL	S20	LDI	X003	ANI	X004		K10
SET	Y006	ANI	Y003	OUT	Y003	RST	Y006
RST	Y005	OUT	Y004	LD	X002	LD	T7
LDI	X002	LD	X003	OUT	T5	SET	S28
OUT	Y003	OUT	T2		K10	STL	S28
LD	X002		K10	LD	T5	RST	Y005
OUT	Y003	LD	T2	SET	S26	OUT	T8
LD	X002	SET	S23	STL	S26		K20
OUT	T0	STL	S23	LDI	X000	LD	T8
	K10	OUT	Y000	ANI	Y002	AND	X004
LD	T0	OUT	T3	OUT	Y001	OUT	S0
SET	S21		K20	LD	X000	LD	T8
STL	S21	LD	T3	OUT	T6	AND	X005
LDI	X001	SET	S24		K10	OUT	S20
ANI	Y001	STL	S24	LD	T6	RET	
OUT	Y002	SET	Y005	SET	S27	END	

图 5-55　气动机械手的 PLC 控制程序指令语句表

第 6 章　PLC 功能指令

早期的 PLC 大多用于开关量控制，基本指令和步进指令已经能满足控制要求。为适应控制系统的其他控制要求（如模拟量控制等），从 20 世纪 80 年代开始，PLC 生产厂家就在小型 PLC 上增设了大量的功能指令（也称应用指令）。功能指令的出现大大拓宽了 PLC 的应用范围，也给用户编制程序带来了极大方便。FX_{2N}系列 PLC 有丰富的功能指令，共有程序流向控制、传送与比较、算术与逻辑运算、循环与移位等 19 类功能指令。

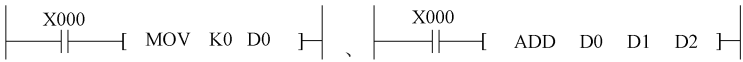
6.1　功能指令的基础知识

1. 功能指令的基本格式

在基本逻辑指令的基础上，PLC 制造厂家开发了一系列完成不同功能的子程序，调用这些子程序的指令称为应用指令或功能指令。功能指令表示格式与基本指令不同，功能指令用编号 FNC00 ~ FNC294 表示，并给出对应的助记符（大多用英文名称或缩写表示）。例如 FNC45 的助记符是 MEAN（平均），若使用简易编程器时输入 FNC45，若采用智能编程器或在计算机上编程时也可输入助记符 MEAN。有些功能指令仅使用指令段（FNC 编号），但在更多的场合是将其与操作数组合在起使用。有的功能指令没有操作数，而大多数功能指令有 1 ~4 个操作数。功能指令的指令段通常占 1 个程序步，16 位操作数占 2 步，32 位操作数占 4 步。

应用指令由 3 部分组成，功能编号 FNC、助记符和操作数。

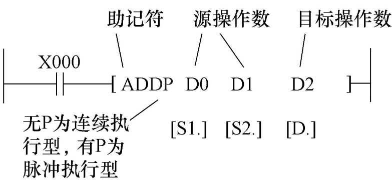
1）梯形图形式：



2）梯形图输入同一个应用指令：



3）应用指令的含义



2. 功能指令的规则

在使用功能指令时，需要了解指令的有关软元件的处理及其执行形式。

（1）应用指令操作数（软元件）的含义（见表 6-1）

表 6-1　应用指令的软元件

字软元件	位软元件	字软元件	位软元件
K:十进制整数	X:输入继电器	T:定时器 T 的当前值	
H:十六进制整数	Y:输出继电器	C:计数器 C 的当前值	
KnX:输入继电器 X 的位指定	M:辅助继电器	D:数据寄存器	
KnY:输出继电器 Y 的位指定	S:状态继电器	V、Z:变址寄存器	
KnS:状态继电器 S 的位指定			

（2）功能指令的执行方式与数据长度

功能指令有连续执行和脉冲执行两种类型。

1）脉冲执行型如图 6-1 所示。

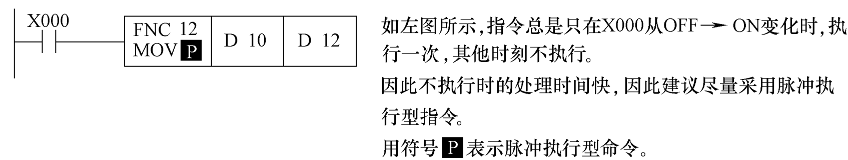


图 6-1　脉冲执行型功能指令

2）连续执行型如图 6-2 所示。

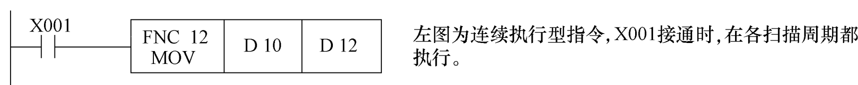


图 6-2　连续执行型功能指令

功能指令可处理 16 位数据或 32 位数据。处理 32 位数据的指令是在助记符前加D标志，无此标志即为处理 16 位数据的指令。注意，32 位计数器（C200 ~ C255）的一个软元件为 32 位，不可作为处理 16 位数据指令的操作数使用。在使用 32 位数据时，建议使用首编号为偶数的操作数，不容易出错，如图 6-3 所示。

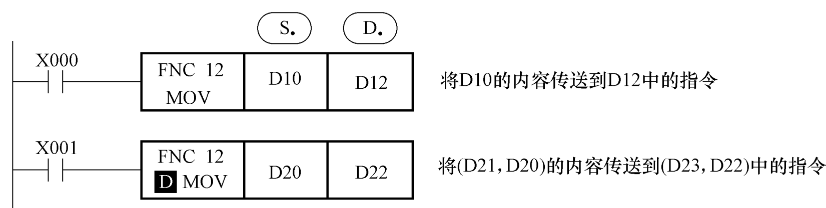


图 6-3　处理 32 位数据的功能指令

（3）功能指令的数据格式

像 X、Y、M、S 等只处理 ON/OFF 信息的软元件称为位元件；而像 T、C、D 等处理数值的软元件则称为字元件，一个字元件由 16 位二进制数组成。

由位软元件组合起来也可以构成字软元件，进行数据处理；每 4 个位软元件为一组，组合成一个单元，位软元件的组合由 Kn（n 在 1～7 之间）加首元件来表示，n 为单元数。如 KnY 、KnX 等，K1Y0 表示由 Y0、Y1、Y2 、Y3 组成的 4 位字软元件；例如 K2M0 表示 M0～M7 组成两个位元件组（K2 表示 2 个单元），它是一个 8 位数据，M0 为最低位。K4M0 表示由 M0—M15 组成的 16 位字软元件。变址寄存器都是 16 位数据寄存器。表示时如果 V＝5，Z＝10，则 D5V＝D10（5＋5＝10），D5Z＝D15（5＋10＝15）。32 位指令中 V、Z 是自动组对使用，V 作为高 16 位，Z 作为低 16 位，使用时只需编写 Z。如果将 16 位数据传送到不足 16 位的位元件组合（$n<4$）时，只传送低位数据，多出的高位数据不传送，32 位数据传送也一样。在做 16 位数操作时，参与操作的位元件不足 16 位时，高位的不足部分均作 0 处理，这意味着只能处理正数（符号位为 0），在做 32 位数处理时也一样。被组合的元件首位元件可以任意选择，但为避免混乱，建议采用编号以 0 结尾的元件，如 S10，X0，X20 等。

在 FX 系列 PLC 内部，数据是以二进制（BIN）补码的形式存储，所有的四则运算都使用二进制数。二进制补码的最高位为符号位，正数的符号位为 0，负数的符号位为 1。FX 系列 PLC 可实现二进制码与 BCD 码的相互转换。

为更精确地进行运算，可采用浮点数运算。在 FX 系列 PLC 中提供了二进制浮点运算和十进制浮点运算，设有将二进制浮点数与十进制浮点数相互转换的指令。二进制浮点数采用编号连续的一对数据寄存器表示，例 D11 和 D10 组成的 32 位寄存器中，D10 的 16 位加上 D11 的低 7 位共 23 位为浮点数的尾数，而 D11 中除最高位的前 8 位是阶位，最高位是尾数的符号位（0 为正，1 是负）。10 进制的浮点数也用一对数据寄存器表示，编号小的数据寄存器为尾数段，编号大的为指数段，例如使用数据寄存器（D1，D0）时，表示数为

$$10\text{进制浮点数}=[\text{尾数 D0}]\times 10^{[\text{指数D1}]}$$

式中，D0，D1 的最高位是正负符号位。

6.2 FX 系列 PLC 的功能指令

FX 系列 PLC 有多达 100 多条功能指令（见附录 C），由于篇幅的限制，本节仅对比较常用的功能指令作详细介绍，其余的指令只作简介，读者可参阅 FX 系列 PLC 编程手册。

6.2.1 程序流程控制指令

程序流程控制指令（FNC00- FNC09）见表 6-2。

表 6-2 程序流程控制指令

FNC NO.	指令记号	指 令 名 称	FNC NO.	指令记号	指 令 名 称
00	CJ	条件跳转	05	DI	禁止中断
01	CALL	子程序相同	06	FEND	主程序结束
02	SRET	子程序返回	07	WDT	看门狗定时器
03	IRET	中断返回	08	FOR	重复范围开始
04	EI	允许中断	09	NEXT	重复范围结束

1. 条件跳转指令CJ

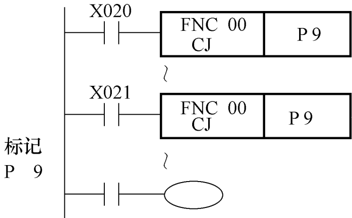


图 6-4　条件跳转指令格式

条件跳转指令 CJ（P）的编号为 FNC00，操作数为指针标号 P0 ~ P127，其中 P63 为 END 所在步序，不需标记。指针标号允许用变址寄存器修改。CJ 和 CJP 都占 3 个程序步，指针标号占 1 个程序步。

条件跳转指令格式如图 6-4 所示。

操作软件：P0 ~ P63，共 64 个。

【例 6-1】　条件跳转指令程序如图 6-5 所示，其执行中各元件过程如图 6-6 所示。

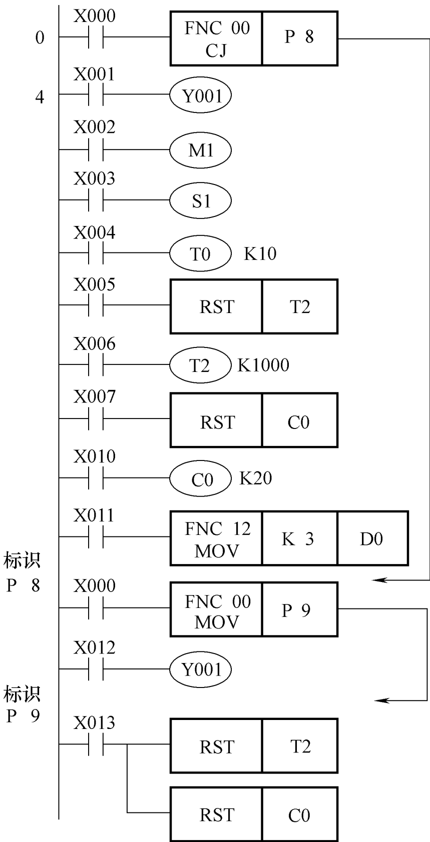


图 6-5　条件跳转指令程序

跳转过程中发生变化会产生这样的结果!

类型	跳转前的触点状态	跳转中的触点动作	跳转中的线圈动作
Y, M, S	X001, X002, X003　OFF	X001, X002, X003　ON	Y001, M1, S1 OFF
	X001, X002, X003　ON	X001, X002, X003　OFF	Y001, M1, S1 ON
10ms、100ms 定时器	X004 OFF	X004 ON	定时器不动作
	X004 ON	X004 OFF	时钟中断，X000 “OFF”后继续
1ms 定时器	X005 OFF X006 OFF	X006 ON	定时器不动作 时钟继续运行
	X005 OFF X006 ON	X006 OFF	X000 “OFF” 后触点动作
计数器	X007 OFF X010 OFF	X010 ON	计数器不工作
	X007 OFF X010 ON	X010 OFF	计数器中断，X000 “OFF”后继续
应用指令	X011 OFF	X011 ON	跳转过程中不执行FNC指令，但是FNC52～FNC58继续工作
	X011 ON	X011 OFF	

图 6-6　条件跳转指令执行中各元件过程

作为执行序列的一部分指令，有 CJ、CJP 指令，可以缩短运算周期及使用双线圈。在图 6-5 所示的示例中，如果 X000 = ON，则从 1 步跳转到标记 P8 的后一步。X000 = OFF 时，不进行跳转，从 0 步向 4 步移动，不执行跳转指令，Y001 变成双线圈，但是 X000 = OFF 时采用 X001。X000 = ON 时采用 X012 动作。因条件跳转，所以即使是分段的程序，在跳转内或跳转外将同一线圈编成 2 个以上程序时，也当作一般的双线圈对待。

累计定时器及计数器的复位指令在跳转外时，计时线圈及跳转的计数线圈复位（触点恢复及当前值的清除）有效。

使用跳转指令时应注意：

1）CJP 指令表示为脉冲执行方式。

2）在一个程序中一个标号只能出现一次，否则将出错。

3）在跳转执行期间，即使被跳过程序的驱动条件改变，但其线圈（或结果）仍保持跳转前的状态，因为跳转期间根本没有执行这段程序。

4）如果在跳转开始时定时器和计数器已在工作，则在跳转执行期间它们将停止工作，到跳转条件不满足后又继续工作。但对于正在工作的定时器 T192 ~ T199 和高速计数器 C235 ~ C255，不管有无跳转仍连续工作。

5）若积算定时器和计数器的复位（RST）指令在跳转区外，即使它们的线圈被跳转，对它们的复位仍然有效。

6）如举例程序中 X0 = ON 时跳转到程序 P8 称为有条件转移，若执行条件使用 M8000，则为无条件跳转。

7）一个标号只能出现一次，多于一次则会出错；两条或多条跳转指令可以使用同一标号。

8）如图 6-7 所示，编程时标号占一行，对有意为向 END 步跳转的指针 P63 编程时，请不要对标记 P63 编程。给标记 P63 编程时，PLC 会显示出错码 6507（标记定义不正确）并停止。

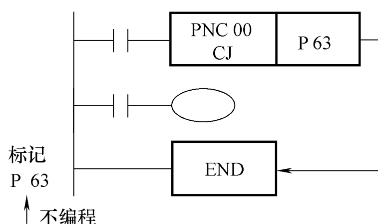


图 6-7　条件跳转指令（P63）

【例 6-2】 在工业控制当中经常采用手动和自动两种方式以确保生产控制的安全性和连续性，如图 6-8 所示。

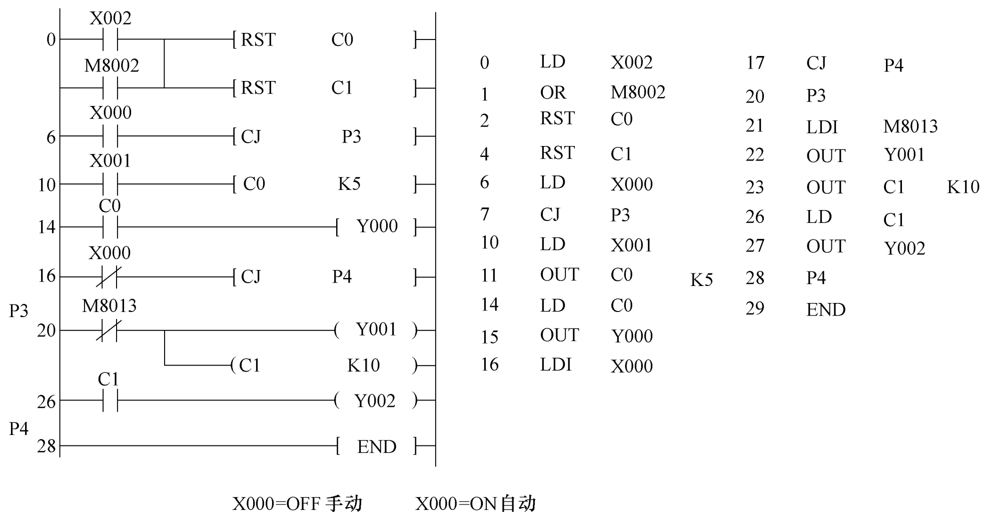


图 6-8　条件跳转指令（例 6-2）

2. 子程序调用指令CALL 、子程序返回指令SRET

子程序调用指令 CALL 的编号为 FNC01，操作数为 P0 ~ P127，此指令占用 3 个程序步。子程序返回指令 SRET 的编号为 FNC02，无操作数，占用 1 个程序步。

使用子程序调用与返回指令时应注意：

1）转移标号不能重复，也不可与跳转指令的标号重复；

2）子程序可以嵌套调用，最多可 5 级嵌套。

其程序格式如图 6-9 所示。

如果 X000 = ON，则执行调用指令跳转到标记 P10 步。在这里，执行子程序后，通过执行 SRET 指令返回原来的步，即 CALL 指令之后的步。

操作软元件为 CALLP0 ~ P62，SRET、FEND 无操作软元件，如图 6-10 所示。

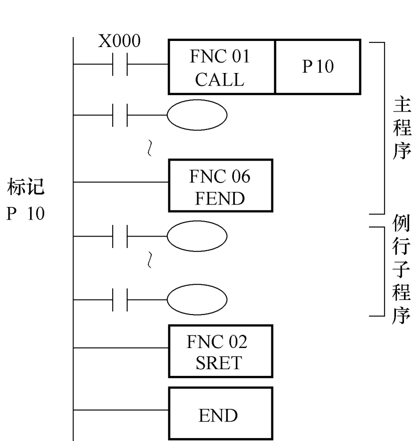


图 6-9　子程序调用指令的使用

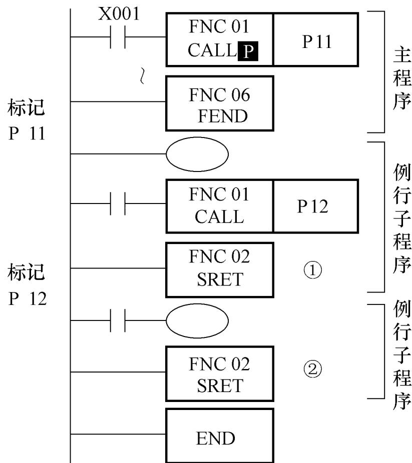


图 6-10　子程序返回指令的使用

X001 = OFF 到 ON 后，只执行 CALL　P11 指令 1 次后向标记 P11 跳转，即脉冲形式。在执行 P11 子程序的过程中，如果执行 P12 的调用指令，则执行 P12 的子程序，并用 SRET 指令向 P11 的子程序跳转。

【例 6-3】 子程序调用指令实例如图 6-11 所示。

第 1 个 SRET 返回主程序，第 2 个 SRET 返回第 1 个子程序。这样，在子程序内最多可以允许 4 次调用指令，整体而言可做 5 层嵌套。

3. 与中断有关的指令

与中断有关的 3 条功能指令是：中断返回指令 IRET，编号为 FNC03；中断允许指令 EI，编号为 FNC04；中断禁止指令 DI，编号为 FNC05。它们均无操作数，占用 1 个程序步，PLC 通常处于禁止中断状态，由 EI 和 DI 指令组成允许中断范围。在执行到该区间时，如有中断源产生中断，CPU 将暂停主程序执行转而执行中断服务程序。当遇到 IRET 时返回断点继续执行主程序，如图 6-12 所示。

PLC 呈平时禁止中断状态。如果用 EI 指令允许中断，则在扫描程序的过程中，如果 X000 或 X001 = ON，则执行中断例行程序①、②，回复初始主程序。

使用中断相关指令时应注意：

1）中断的优先级排队如下，如果多个中断依次发生，则以发生先后为序，即发生越早级别越高。如果多个中断源同时发出信号，则中断指针号越小优先级越高。

2）当 M8050 ~ M8058 为 ON 时，禁止执行相应 I0□□ ~ I8□□的中断。M8059 为 ON 时则禁止所有计数器中断。

3）无需中断禁止时，可只用 EI 指令，不必用 DI 指令。

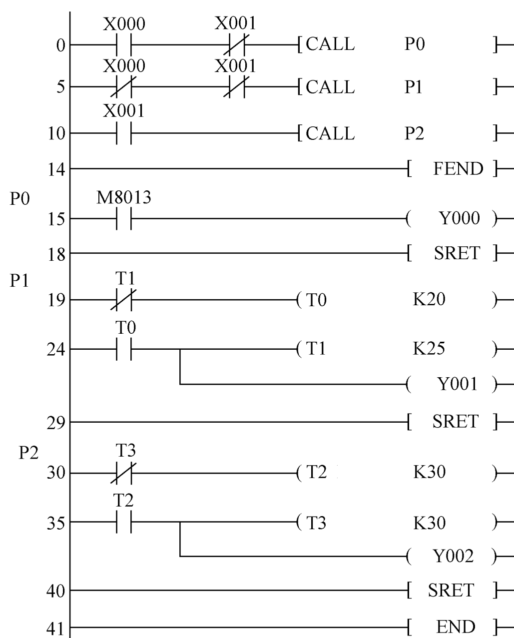


图 6-11　子程序调用指令

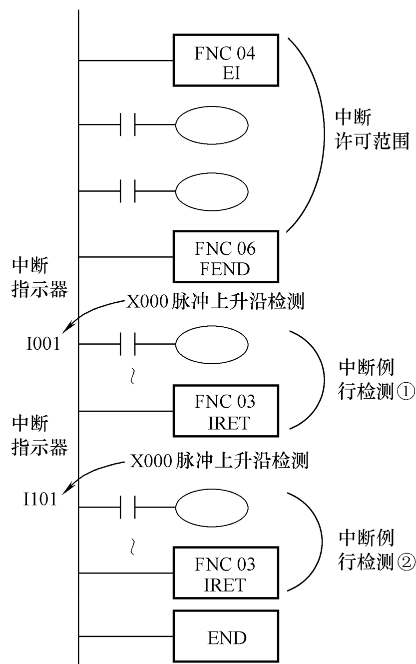


图 6-12　与中断有关的功能指令

4）执行一个中断服务程序时，如果在中断服务程序中有 EI 和 DI 指，则可实现二级中断嵌套，否则禁止其他中断。

4. 主程序结束指令

主程序结束指令 FEND 的编号为 FNC06，无操作数，占用 1 个程序步。FEND 指令表示主程序结束，当执行到 FEND 指令时，PLC 进行 I/O 处理，监视定时器刷新，完成后返回起始步，如图 6-13 所示。

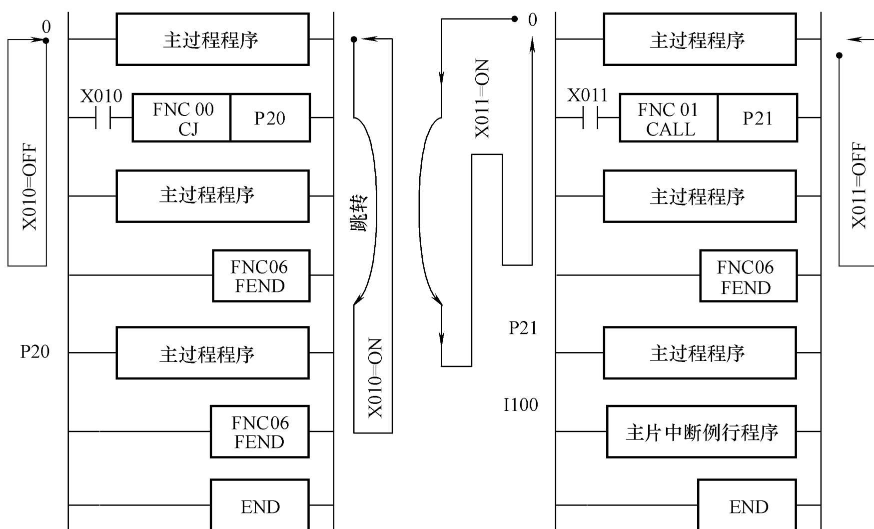


图 6-13　主程序结束功能指令

使用 FEND 指令时应注意：

1）子程序和中断服务程序应放在 FEND 指令之后；

2）子程序和中断服务程序必须写在 FEND 和 END 指令之间，否则会出错。

5. 监视定时器刷新指令

监视定时器刷新指令 WDT 是在 PLC 顺序执行程序中，进行监视定时器刷新的指令。WDT（P）指令为连续/脉冲执行型指令，无操作软元件，如图 6-14 所示。

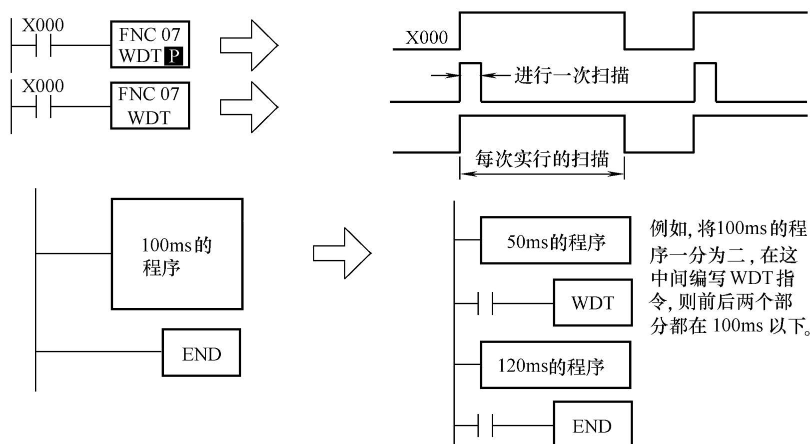


图 6-14　WDT 指令

监视定时器指令 WDT（P）编号为 FNC07，没有操作数，占用 1 个程序步。WDT 指令的功能是对 PLC 的监视定时器进行刷新。

FX 系列 PLC 监视定时器的默认值为 200ms（可用 D8000 来设定），正常情况下 PLC 扫描周期小于此定时时间。如果由于有外界干扰或程序本身的原因使扫描周期大于监视定时器的设定值，使 PLC 的 CPU 出错灯亮并停止工作，可通过在适当位置加 WDT 指令复位监视定时器，以使程序能继续执行到 END 指令。

使用 WDT 指令时应注意：

1）如果在后续的 FOR-NEXT 循环中，执行时间可能超过监控定时器的定时时间，可将 WDT 插入循环程序中。

2）当与条件跳转指令 CJ 对应的指针标号在 CJ 指令之前时（即程序往回跳），就有可能连续反复跳步使它们之间的程序反复执行，使执行时间超过监控时间。可在 CJ 指令与对应标号之间插入 WDT 指令。

6. 循环指令

循环指令共有两条：循环区起点指令 FOR，编号为 FNC08，占 3 个程序步；循环结束指令 NEXT，编号为 FNC09，占用 1 个程序步，无操作数。

在程序运行时，位于 FOR 到 NEXT 之间的程序反复执行 n 次（由操作数决定）后再继续执行后续程序。只在 FOR 到 NEXT 指令之间的处理（利用源数据指定的次数）执行几次后，才处理 NEXT 指令以后的步。循环的次数 $n=1\sim32767$。如果 n 在 $-32767\sim0$ 之间，则当作 $n=1$ 处理，如图 6-15 所示。

［C］的程序执行 4 次后向 NEXT 指令③以后的程序转移。若在［C］的程序执行一次的

过程中，数据寄存器 D0Z 的内容为 6，则［B］的程序执行 6 次。因此，［B］的程序合计一共被执行了 24 次。若不想执行 FOR 到 NEXT 之间的程序，利用 CJ 指令，使之跳转（X010 = ON）。当 X010 为 OFF 时，如 K1X000 的内容为 7，则在［B］的程序执行一次的过程中，［A］被执行了 7 次。总计被执行了 4×6×7 = 168 次，这样一共可以嵌套 5 层。循环次数多时扫描周期会延长，有可能出现监视定时器错误，请务必注意。

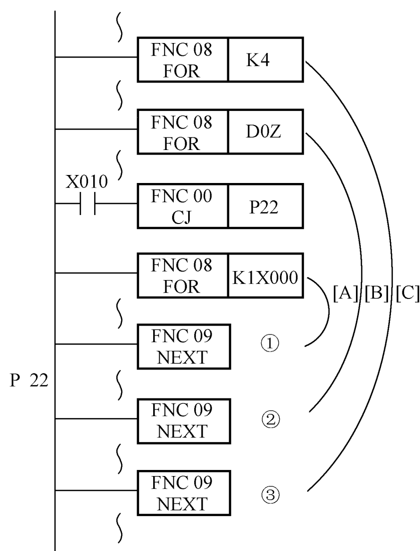


图 6-15　循环指令

使用循环指令时应注意：

1）FOR 和 NEXT 指令必须成对使用；

2）FX_{2N}系列 PLC 可循环嵌套 5 层；

3）在循环中可利用 CJ 指令在循环没结束时跳出循环体；

4）FOR 指令应放在 NEXT 指令之前，NEXT 指令应在 FEND 指令和 END 指令之前，否则均会出错。

NEXT 指令在 FOR 指令之前或无 NEXT 指令，或在 FEND、END 指令以后有 NEXT 指令或 FOR 指令与 NEXT 指令的个数不一致时等，都会出错。

操作软元件：K、H、K*n*H、K*n*Y、K*n*M、K*n*S、T、C、D、V、Z；NEXT 指令无操作软元件。

6.2.2　传送与比较指令

传送与比较指令（FNC10～FNC19）见表 6-3。

表 6-3　传送与比较指令

功能号	指令记号	指 令 名 称	功能号	指令记号	指 令 名 称
10	CMP	比较	15	BMOV	块传送
11	ZCP	区域比较	16	FMOV	多点传送
12	MOV	传送	17	XCH	数据的交换
13	SMOV	位传送	18	BCD	BCD 码的交换
14	CML	反相传送	19	BIN	BIN 码的交换

1. 比较指令、区间比较指令

比较指令包括 CMP（比较）和 ZCP（区间比较）两条指令。

比较指令 CMP、(D) CMP (P) 指令的编号为 FNC10，将源操作数［S1.］和源操作数［S2.］的数据进行比较，比较结果用目标元件［D.］的状态来表示。

区间比较指令 ZCP、(D) ZCP (P) 指令的编号为 FNC11，指令执行时源操作数［S.］与源操作数［S1.］和源操作数［S2.］的内容进行比较，并将比较结果送到目标操作数［D.］中，见表 6-4。

表 6-4　CMP（比较）和 ZCP（区间比较）指令

功能编号	助记符	功　能	操作软元件			
			S1.	S2.	S.	D.
10	CMP	将源操作软元件 S1 与 S2 的内容进行比较	K、H、KnX、KnY、KnM、KnS、T、C、D、V、Z			X、Y、M、S、T、C、D、V、Z
11	ZCP	S 与 S1、S2 区间进行比较				

【例 6-4】（见图 6-16）

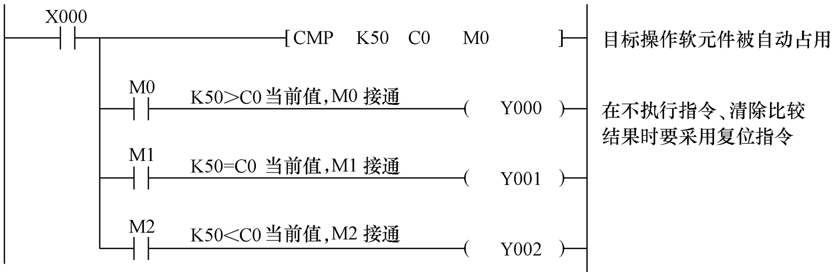


图 6-16　CMP 指令

X000 = OFF 时，即使不执行 CMP 指令，M0 ~ M2 仍保持了X000 = OFF之前的状态。应用其他指令的实现如图 6-17 所示。

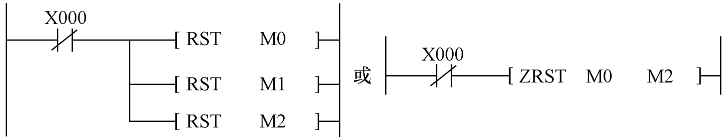


图 6-17　应用其他指令的实现

【例 6-5】（见图 6-18）

X000 = OFF 时即使不执行 ZCP 指令，M3 ~ M5 仍保持 X000 = OFF 之前的状态。源操作数［S1.］的内容不得大于源操作数［S2.］的内容。假如指定 M3 作为目标，则 M3、M4、MS 自动地被占有。

使用比较指令 CMP/ZCP 时应注意：

1）源操作数［S1.］、源操作数［S2.］可取任意数据格式，目标操作数［D.］可取 Y、M 和 S。

2）使用 ZCP 指令时，［S2.］的数值不能小于［S1.］。

3）所有的源数据都被看成二进制值处理。

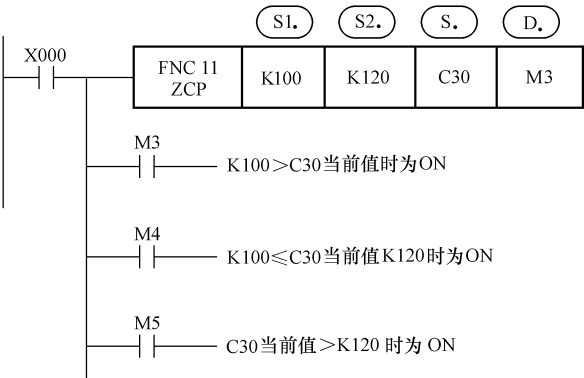


图 6-18　ZCP 指令

2. 传送指令

1）传送指令 MOV、（D）MOV

（P）指令的编号为 FNC12，该指令的功能是将源数据传送到指定的目标，见表 6-5。

表 6-5　传送指令

功能编号	助记符	功　　能	操作软元件		D 连续执行	P 脉冲执行
			S	D		
12	MOV	将源操作元件的数据传送到指定的目标操作元件	K、H、KnX、KnY、KnM、KnS、T、C、D、V、Z	KnY、KnM、KnS、T、C、D、V、Z	+	+

传送指令格式如图 6-19 的所示。

能使数据照原样传送的指令，将源的内容向目标传送。X000 为 OFF 时，数据不变化，常数 K100 被自动转换成 BIN 码。

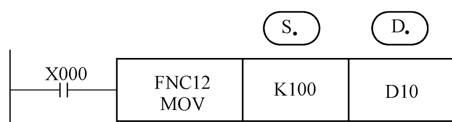


图 6-19　传送指令

使用应用 MOV 指令时应注意：

① 源操作数可取所有数据类型，标操作数可以是 KnY、KnM、KnS、T、C、D、V、Z。

② 16 位运算时占 5 个程序步，32 位运算时则占 9 个程序步。

【例 6-6】（见图 6-20）

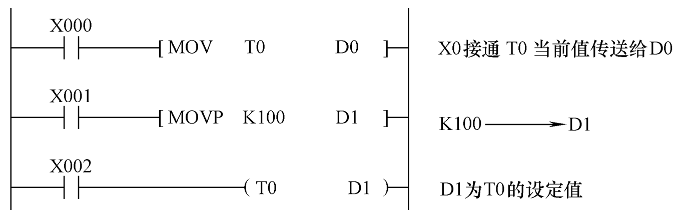


图 6-20　传送指令应用

【例 6-7】　定时器、计数器的当前值读出示例，如图 6-21 所示。

（T0）当前值给（D20），关于计数器也一样。

【例 6-8】　定时器、计数器设定值的间接指定示例，如图 6-22 所示。

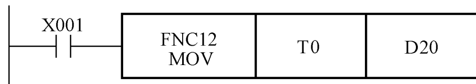


图 6-21　定时器、计数器的当前值读出示例图

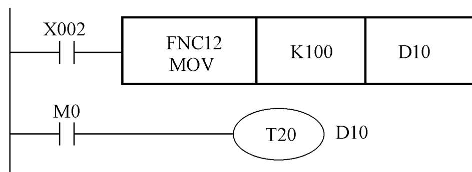


图 6-22　定时器、计数器设定值的间接指定示例

（K100）给（D10），D10 = K100（10s 定时器）。

【例 6-9】　位软元件的传送如图 6-23 所示。

图 6-23 右图中，可用右面的 MOV 指令来表示左边的顺控程序。

【例 6-10】　32 位数据的传送如图 6-24 所示。

2）移位传送指令 SMOV、SMOV（P）指令的编号为 FNC13。该指令的功能是将源数据

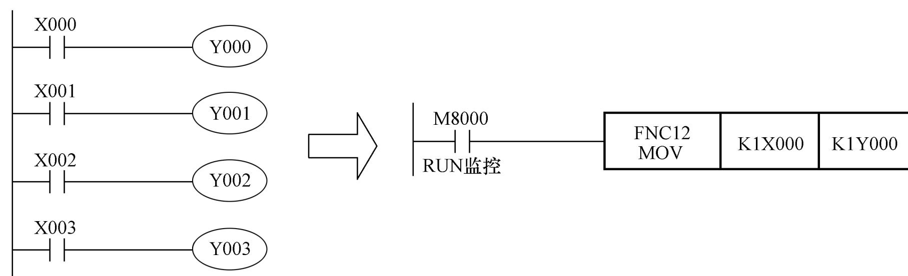


图 6-23　位软元件的传送



图 6-24　32 位数据的传送

（二进制）自动转换成 4 位 BCD 码，再进行移位传送，传送后的目标操作数元件的 BCD 码自动转换成二进制数，如图 6-25 所示。

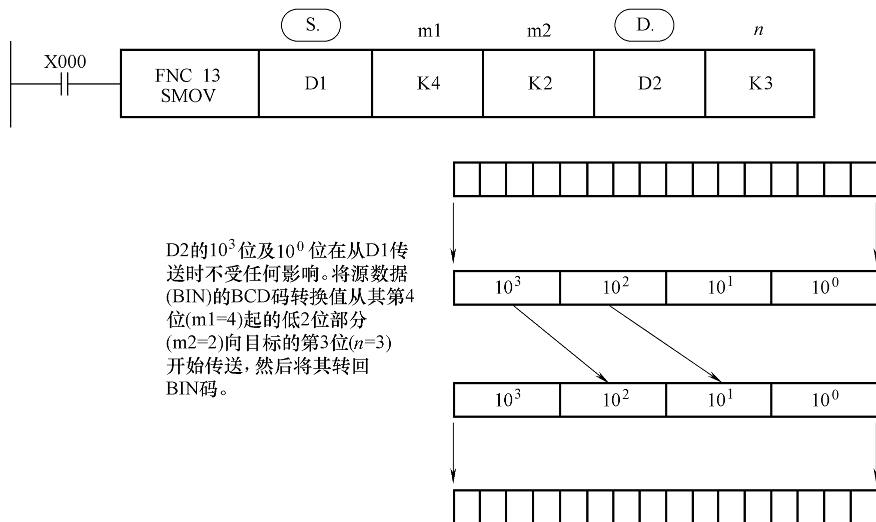


图 6-25　移位传送指令 SMOV

使用移位传送指令时应该注意：

① 源操作数可取所有数据类型，目标操作数可为 K*n*Y、K*n*M、K*n*S、T、C、D、V、Z。

② SMOV 指令只有 16 位运算，占 11 个程序步。

【例 6-11】（见图 6-26）

3）反相传送指令 CML、（D）CML（P）指令的编号为 FNC14。它将源操作数元件的数据逐位取反并传送到指定目标，如图 6-27 所示。

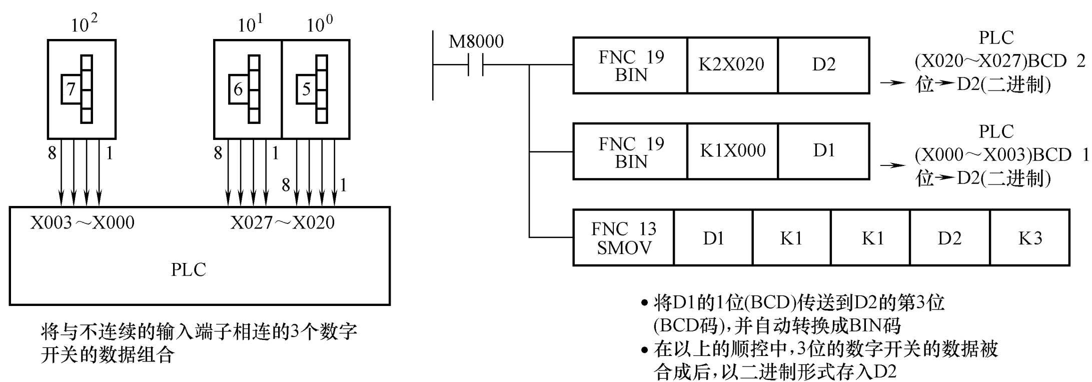


图 6-26　移位传送指令的应用

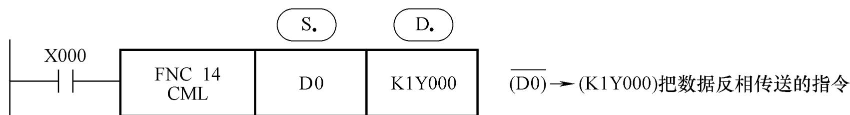


图 6-27　取反传送指令 CML

使用反相传送指令 CML 时应注意：

① 源操作数可取所有数据类型，目标操作数可为 K*n*Y、K*n*M、K*n*S、T、C、D、V、Z。若源数据为常数 K，则该数据会自动转换为二进制数。

② 16 位运算占 5 个程序步，32 位运算占 9 个程序步。

【例 6-12】 反相输入的读取如图 6-28 所示。

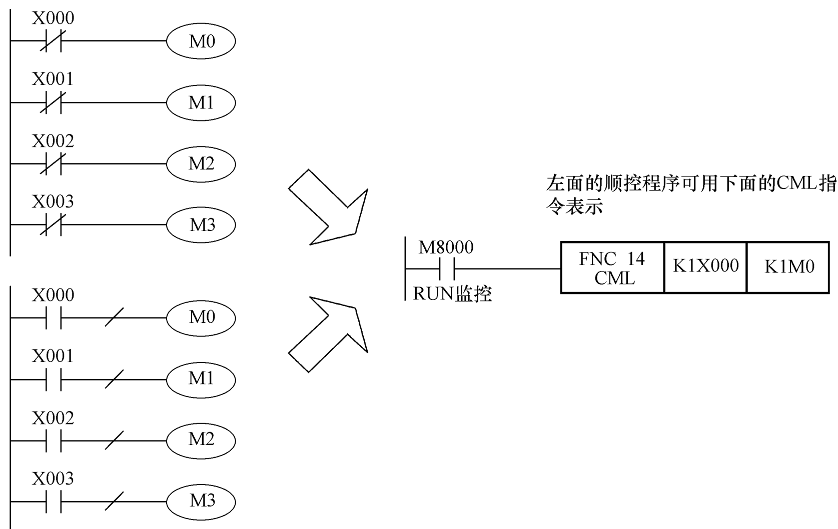


图 6-28　反相传送指令 CML 的应用

4）块传送指令 BMOV、BMOV（P）指令的编号为 FNC15。它将源操作数指定元件开始的 *n* 个数据组成数据块传送到指定的目标，如图 6-29 所示。

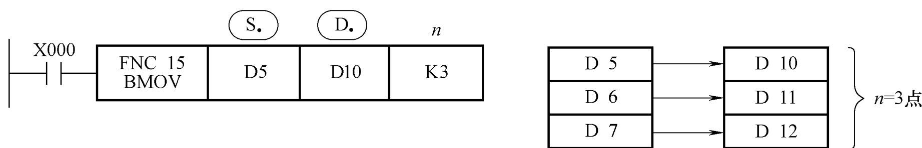


图 6-29　块传送指令 BMOV

使用块传送指令时应注意：

① 源操作数可取 KnX、KnY、KnM、KnS、T、C、D 和文件寄存器，目标操作数可取 KnT、KnM、KnS、T、C 和 D；

② 只有 16 位操作，占 7 个程序步；

③ 如果元件号超出允许范围，则数据仅传送到允许范围的元件。

【例 6-13】 带有位指定的位元件时，源和目标要采用相同的位数，如图 6-30 所示。

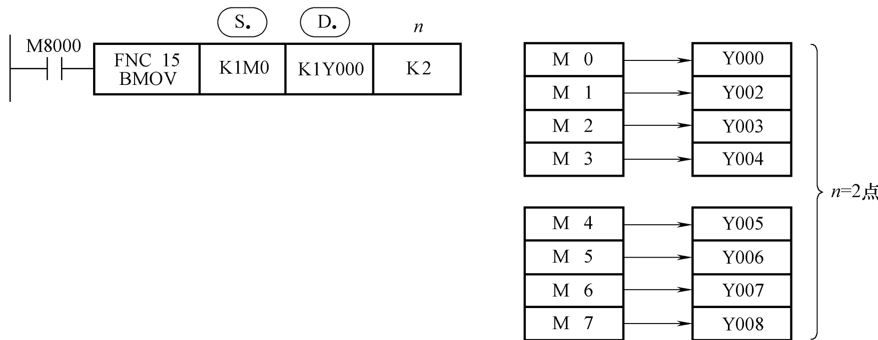


图 6-30　块传送指令 BMOV 的应用

5）多点传送指令 FMOV、（D）FMOV（P）指令的编号为 FNC16。它的功能是将源操作数中的数据传送到指定目标开始的 n 个元件中，传送后 n 个元件中的数据完全相同，如图 6-31 所示。

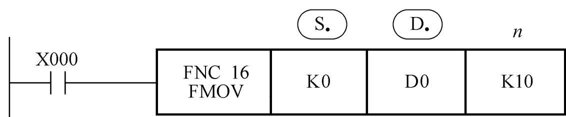


图 6-31　多点传送指令

将 K0 传送至 D0 ~ D9，同一数据的多点传送指令，如图 6-32 所示。

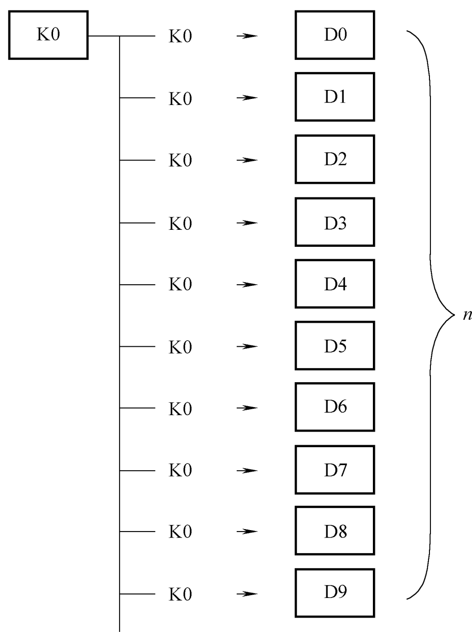


图 6-32　多点传送指令应用

使用多点传送指令 FMOV 时应注意：

① 源操作数可取所有的数据类型，目标操作数可取 KnX、KnM、KnS、T、C、D，n≤512；

② 16 位操作占 7 个程序步，32 位操作则占 13 个程序步；

③ 如果元件号超出允许范围，则数据仅送到允许范围的元件中。

3. 交换指令

（1）BCD 码交换指令

源（BIN 码）转换为目标（BCD 码）的转换传送指令。

（2）BIN 码交换指令

源（BCD 码）转换为目标（BIN 码）的转换传送指令。

【例 6-14】 程序举例如图 6-33 所示。

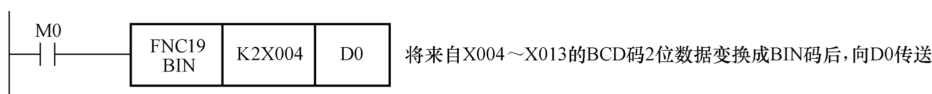


图 6-33　BIN 码的转换指令

（3）数据交换指令

数据交换指令（D）XCH（P）的编号为 FNC17，它将数据在指定的目标元件之间的数据相互交换。如使用连续执行型指令时，每个扫描周期均进行数据交换，如图 6-34 所示。

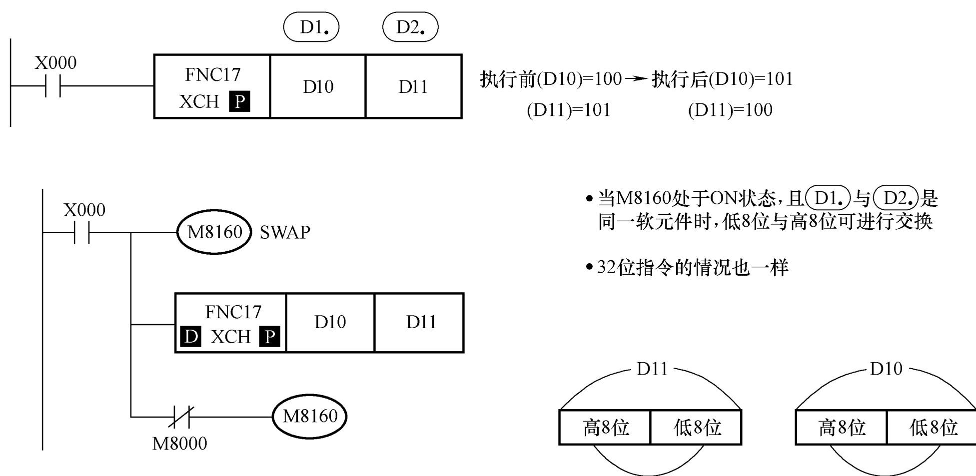


图 6-34　数据交换指令

在 M8160 处于 ON 状态下，且 D1 与 D2 的软元件编号不同时，出错标志 M8067 变为 ON 状态，该指令无法执行。

这个扩展功能与 FNC147（SWAP）指令的动作相同，通常情况下请使用 FNC147（SWAP）指令。

使用数据交换指令应该注意：

1）操作数的元件可取 K*n*Y、K*n*M、K*n*S、T、C、D、V、Z；

2）交换指令一般采用脉冲执行方式，否则在每一次扫描周期都要交换一次；

3）16 位运算时占 5 个程序步，32 位运算时占 9 个程序步。

4. 数据变换指令（见表 6-6）

表 6-6　数据变换指令

功能编号	助记符	功　　能	操作软元件		D	P
			S	D		
18	BCD	将源操作软元件的二进制数转换成 BCD 码传送到指定的目标操作元件中	KnX、KnY、KnM、KnS、T、C、D、V、Z	KnY、KnM、KnS、T、C、D、V、Z	+	+
19	BIN	将源操作元件的 BCD 码转换成二进制数据传送到指定的目标操作元件中	KnX、KnY、KnM、KnS、T、C、D、V、Z	KnY、KnM、KnS、T、C、D、V、Z	+	+

1）BCD 码变换指令 BCD、（D）BCD（P）指令的编号为 FNC18，它将源元件中的二进制数转换成 BCD 码送到目标元件中。

当指令进行 16 位操作时，执行结果超出 0～9999 范围将会出错；当指令进行 32 位操作时，执行结果超过 0～99999999 范围也将出错。PLC 中内部的运算为二进制运算，可用 BCD 指令将二进制数变换为 BCD 码输出到七段显示器，如图 6-35 所示。

2）BIN 码变换指令 BIN、（D）BIN（P）指令的编号为 FNC19，它将源元件中的 BCD 码数据转换成二进制数据送到目标元件中，如图 6-36 所示。

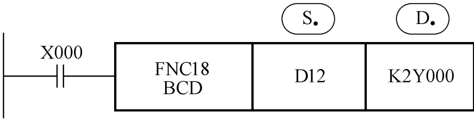


图 6-35　BCD 码数据变换指令

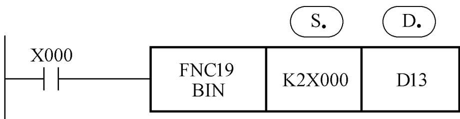


图 6-36　BIN 码数据变换指令

使用 BCD/BIN 指令时应注意：

① 源操作数可取 KnK、KnY、KnM、KnS、T、C、D、V、Z，目标操作数可取 KnY、KnM、KnS、T、C、D、V、Z；

② 16 位运算占 5 个程序步，32 位运算占 9 个程序步。

【例 6-15】（见图 6-37）

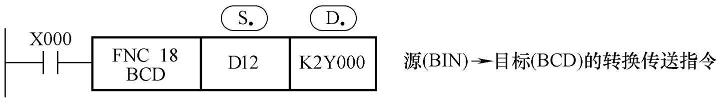


图 6-37　BCD 码数据变换指令的应用

接线形式如图 6-38 所示。

四则运算（＋－×÷）与增量指令、减量指令等编程控制器内的运算都用 BIN 码进行，因此 PLC 获取 BCD 码的数字开关信息时，要使用 FNC19（BCD 码→BIN 码）转换传送指令。另外，向 BCD 码的七段显示器输出时应使用 FNC18（BIN →BCD）转换传送指令，但一些特殊指令能自动地进行 BCD 码/BIN 码转换。

指令说明：

① 使用 BCD、BCD（P）指令时，如 BCD 码转换结果超出 0～9999 范围会出错。

② 当使用（D）BCD、（D）BCDP 指令时，如 BCD 码转换结果超出 0 ~ 99999999 范围会出错。

③ 将 PLC 内的二制数据变为七段显示等的 BCD 码而向外部输出时使用该指令。

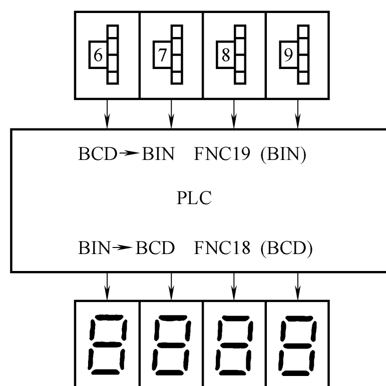


图 6-38 接线形式图

【例 6-16】（见图 6-39）。

指令说明：

① PLC 获取 BCD 码数字开关的设定值时使用。

② 源数据不是 BCD 码时，会发生 M8067（运算错误）、M8068（运算错误锁存）将不工作。

因为常数 K 自动地转换成二进制数，所以不成为这个指令操作软元件。



图 6-39 BIN 码数据变换指令应用

6.2.3 四则运算指令

四则运算指令（FNC20 ~ FNC29）见表 6-7。

表 6-7 四则运算指令

FNC NO.	指令记号	指 令 名 称	FNC NO.	指令记号	指 令 名 称
20	ADD	BIN 加法	25	DEC	BIN 递减
21	SUB	BIN 减法	26	WAND	逻辑与
22	MUL	BIN 乘法	27	WOR	逻辑成
23	DIV	BIN 除法	28	WXOR	逻辑异或
24	INC	BIN 递增	29	NEG	求补

1. 加法指令

加法指令 ADD、（D）ADD（P）指令的编号为 FNC20。加法指令是将指定的源操作软元件［S1.］、［S2.］中的二进制数相加，结果送到指定的目标操作软元件［D.］中。加法指令格式如图 6-40 所示。

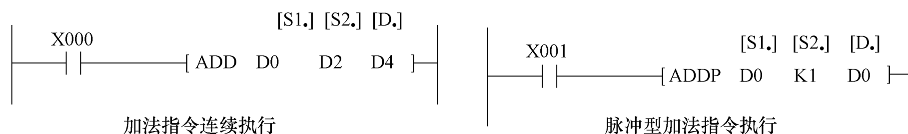


图 6-40 加法指令

指令说明：

1）操作软元件：［S］K、H、KnX、KnY、KnM、KnS、T、C、D、V、Z

[D] KnY、KnM、KnS、T、C、D、V、Z

2）当执行条件满足时，[S1.] +[S2.] 的结果存入 [D.] 中，运算为代数运算。

3）加法指令操作时影响 3 个常用标志，即 M8020 零标志、M8021 借位标志、M8022 进位标志。运算结果为零则 M8020 置 1，超过 32767 时进位标志 M8022 置 1，小于 −32767 时借位标志 M8021 置 1（以上都为 16 位时）。

【例 6-17】 程序举例如图 6-41 所示。

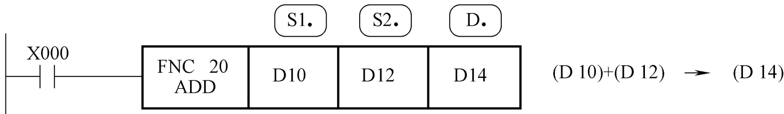


图 6-41 加法指令应用

2. 减法指令

减法指令 SUB、(D) SUB (P) 指令的编号为 FNC21，它将 [S1.] 指定元件中的内容以二进制形式减去 [S2.] 指定元件的内容，其结果存入由 [D.] 指定的元件中。减法指令格式如图 6-42 所示。

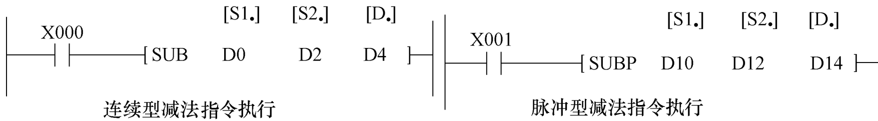


图 6-42 减法指令

指令说明：

1）操作软元件也和加法指令一样。

2）当执行条件满足时，[S1.] 到 [S2.] 的结果存入 [D.] 中，运算为代数运算。

3）各种标志的动作和加法指令一样。

使用加法和减法指令时应该注意：

1）操作数可取所有数据类型，目标操作数可取 KnY、KnM、KnS、T、C、D、V、Z。

2）16 位运算占 7 个程序步，32 位运算占 13 个程序步。

3）数据为有符号二进制数，最高位为符号位（0 为正，1 为负）。

4）加法指令有 3 个标志：零标志（M8020）、借位标志（M8021）和进位标志（M8022）。当运算结果超过 32767（16 位运算）或 2147483647（32 位运算）时，进位标志置 1；当运算结果小于 −32767（16 位运算）或 −2147483647（32 位运算）时，借位标志置 1。

【例 6-18】 程序举例如图 6-43 所示。

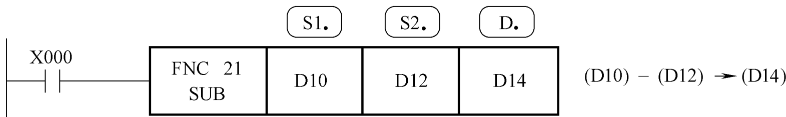


图 6-43 减法指令应用

3. 乘法指令

乘法指令 MUL、(D) MUL (P) 指令的编号为 FNC22，数据均为有符号数。乘法指令将指定的源操作软元件［S1.］、［S2.］的二进制数相乘，结果送到指定的目标操作软元件［D.］中。乘法指令格式如图 6-44 所示。

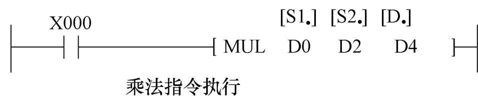


图 6-44 乘法指令

指令说明：

1）操作软元件同减法指令一样。

2）［S1.］×［S2.］存入［D.］中，即［D0.］×［D2.］结果存入［D5.］［D4.］中。

3）最高位为符号位，0 正 1 负。

【例 6-19】 程序举例如图 6-45 所示。

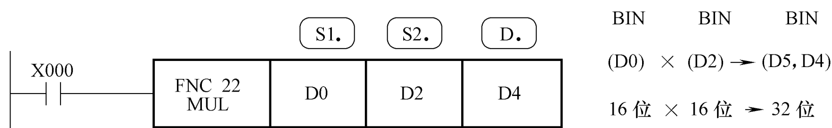


图 6-45 乘法指令应用

4. 除法指令

除法指令 DIV、(D) DIV (P) 指令的编号为 FNC23，其功能是将［S1.］指定为被除数，［S2.］指定为除数，将除得的结果送到［D.］指定的目标元件中，余数送到［D.］的下一个元件中。除法指令格式如图 6-46 所示。

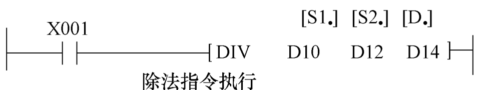


图 6-46 除法指令

使用乘法和除法指令时应注意：

1）源操作数可取所有数据类型，目标操作数可取 K*n*Y、K*n*M、K*n*S、T、C、D、V、Z，要注意 Z 只有 16 位乘法时能用，32 位时不可用。

2）16 位运算占 7 个程序步，32 位运算占 13 个程序步。

3）32 位乘法运算中，如用位元件作目标，则只能得到乘积的低 32 位，高 32 位将丢失，这种情况下应先将数据移入字元件再运算；除法运算中将位元件指定为［D.］则无法得到余数，除数为 0 时运算错误。

4）积、商和余数的最高位为符号位。

【例 6-20】 程序举例如图 6-47 所示。

5. 递增指令/递减指令

递增指令 INC、(D) INC (P) 的编号为 FNC24，递减指令 DEC (D)、DEC (P) 的编号为 FNC25。INC 和 DEC 指令分别当条件满足时将指定元件的内容加 1 或减 1，功能是将目标操作软元件［D.］中的结果加 1 或目标操作软元件［D.］中的结果减 1。递增和递减指令格式如图 6-48 所示。

指令说明：

1）若用连续指令时，每个扫描周期都执行。

2）脉冲执行型只在有脉冲信号时执行一次。

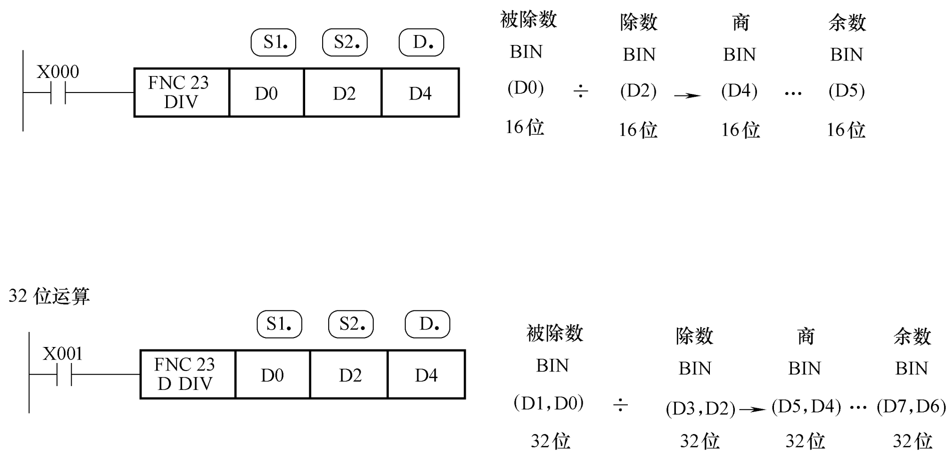


图 6-47　除法指令应用

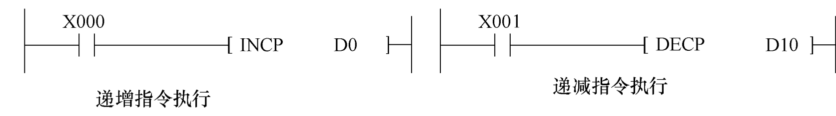


图 6-48　递增和递减指令

使用递增和递减指令时应注意：

1）指令的操作数可为 K*n*Y、K*n*M、K*n*S、T、C、D、V、Z。

2）当进行 16 位操作时为 3 个程序步，32 位操作时为 5 个程序步。

3）在 INC 运算时，如数据为 16 位，则由 +32767 再加 1 变为 -32768，但标志不置位；同样，32 位运算由 +2147483647 再加 1 就变为 -2147483648 时，标志也不置位。

4）在 DEC 运算时，16 位运算 -32768 减 1 变为 +32767，且标志不置位；32 位运算由 -2147483648 减 1 变为 =2147483647，标志也不置位。

【例 6-21】　程序举例如图 6-49 和图 6-50 所示。

X000 每置 ON 一次，D 指定软元件的内容就加 1。在连续执行型指令中，每个扫描周期都将执行加 1 运算，如图 6-49 所示。

X001 每置 ON 一次，D 指定软元件的内容就减 1。在连续执行型指令中，每个扫描周期都将执行减 1 运算，如图 6-50 所示。

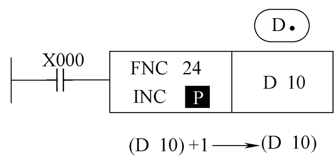


图 6-49　加 1 指令应用

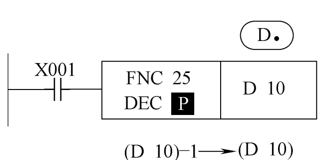


图 6-50　减 1 指令应用

6. 逻辑辑运算类指令

1）逻辑与指令 WAND（D）、WAND（P）指令的编号为 FNC26，它将两个源操作数按位进行与操作，结果送指定元件。

2）逻辑或指令 WOR、（D）WOR（P）指令的编号为 FNC27，它对 2 个源操作数按位进行或运算，结果送指定元件，如（D10）∨（D12）→（D14）。

3）逻辑异或指令 WXOR、（D）WXOR（P）指令的编号为 FNC28，它对源操作数位进行逻辑异或运算。

4）求补指令 NEG、（D）NEG（P）指令的编号为 FNC29，其功能是将［D.］指定的元件内容的各位先取反再加 1，将其结果再存入原来的元件中。

使用逻辑运算指令时应该注意：

1）WAND、WOR 和 WXOR 指令的［S1.］和［S2.］均可取所有的数据类型，而目标操作数可取 K*n*Y、K*n*M、K*n*S、T、C、D、V 和 Z。

2）NEG 指令只有目标操作数，其可取 K*n*Y、K*n*M、K*n*S、T、C、D、V 和 Z。

3）WAND、WOR、WXOR 指令 16 位运算占 7 个程序步，32 位为 13 个程序步，而 NEG 分别占 3 步和 5 步。

6.2.4 循环与移位指令

循环与移位指令（FNC30 ~ FNC39）见表 6-8。

表 6-8 循环与移位指令

FNC NO.	指令记号	指 令 名 称	FNC NO.	指令记号	指 令 名 称
30	ROR	右循环	35	SFTL	位左移
31	ROL	左循环	36	WSFR	字右移
32	RCR	带进位右循环	37	WSFL	字左移
33	RCL	带进位左循环	38	SFWR	移位写入
34	SFTR	位右移	39	SFRD	移位读出

1. 循环移位指令

右、左循环移位指令 ROR、（D）ROR（P）和 ROL、（D）ROL（P）编号分别为 FNC30 和 FNC31。执行这两条指令时，各位数据向右（或向左）循环移动 *n* 位，最后一次移出来的那一位同时存入进位标志 M8022 中，如图 6-51 所示。

X000 从 OFF 到 ON 每变化一次，则移位 *n* 位，最终位被存入进位标志中。

2. 带进位的循环移位指令

带进位的循环右、左移位指令 RCR（D）、RCR（P）和 RCL（D）、RCL（P）编号分别为 FNC32 和 FNC33。执行这两条指令时，各位数据连同进位（M8022）向右（或向左）循环移动 *n* 位，如图 6-52 所示。

X000 从 OFF 到 ON 每变化一次，则进行 *n* 位移位。

使用 ROR/ROL/RCR/RCL 指令时应该注意：

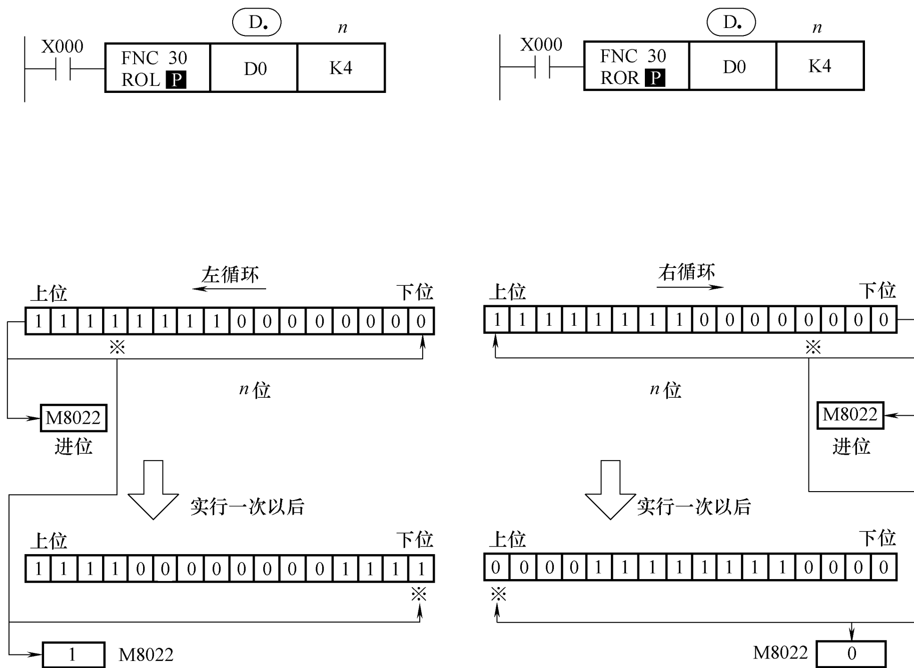


图 6-51 循环移位指令

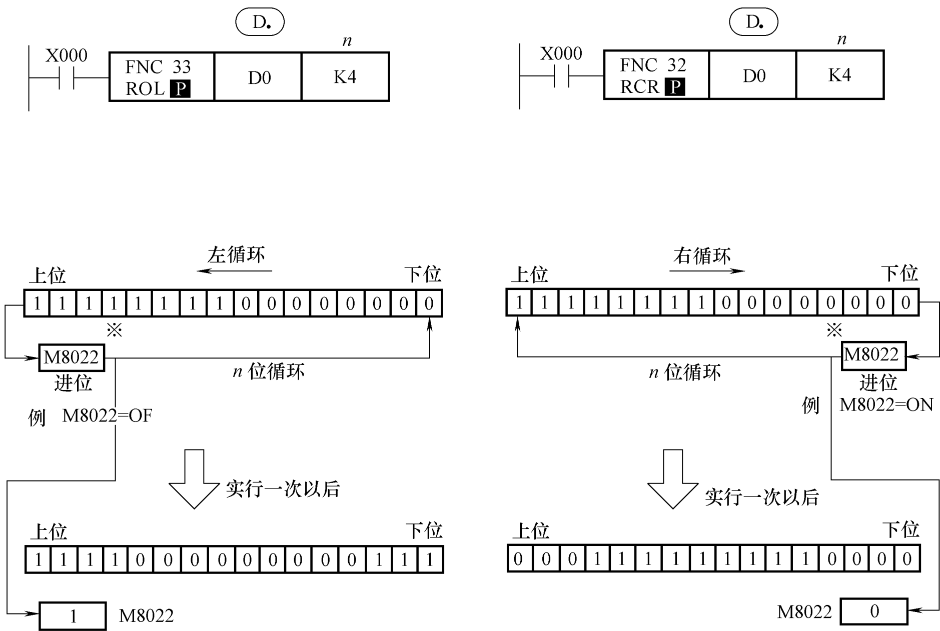


图 6-52 带进位的循环移位指令

1）目标操作数可取 KnY、KnM、KnS、T、C、D、V、Z，目标元件中指定位元件的组合只有在 K4（16 位指令）和 K8（32 位指令）时有效。

2）16 位指令占 5 个程序步，32 位指令占 9 个程序步。

3）用连续指令执行时，循环移位操作每个周期执行一次。

3. 位右移和位左移指令

位右、左移指令 SFTR（P）和 SFTL（P）的编号分别为 FNC34 和 FNC35，它们使位元件中的状态成组地向右（或向左）移动。$n1$ 指定位元件的长度，$n2$ 指定移位位数，$n1$ 和 $n2$ 的关系及范围因机型不同而有差异，一般为 $n2 \leqslant n1 \leqslant 1024$。位右、左移指令见表 6-9。

表 6-9　位右、左移指令

功能编号	助记符	指令名称及功能	操作软元件			
			［S.］	［D.］	$n1$	$n2$
34	SFTR(P)	位右移	X、Y、M、S	Y、M、S	K、H $n2 \leqslant n1 \leqslant 1024$	
35	SFTL(P)	位左移				

两条指令使位软元件中的状态向右/向左移位，如图 6-53 和图 6-54 所示。

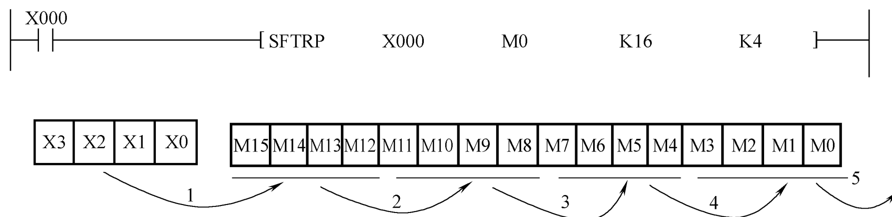


图 6-53　位右移指令执行

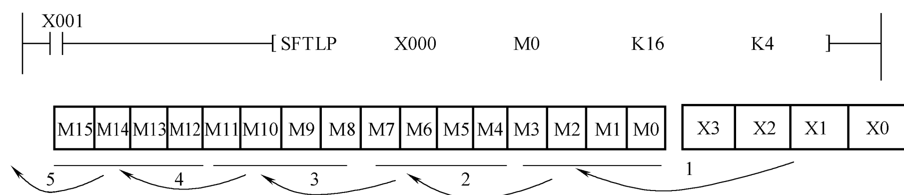


图 6-54　位左移指令执行

使用位右移和位左移指令时应注意：

1）源操作数可取 X、Y、M、S，目标操作数可取 Y、M、S。

2）只有 16 位操作，占 9 个程序步。

4. 字右移和字左移指令

字右、字左移指令 WSFR（P）和 WSFL（P）指令编号分别为 FNC36 和 FNC37。字右移和字左移指令以字为单位，其工作过程与位移位相似，将 $n1$ 个字右移或左移 $n2$ 个字。

使用字右移和字左移指令时应注意：

1）源操作数可取 KnX、KnY、KnM、KnS、T、C、D，目标操作数可取 KnY、KnM、KnS、T、C、D。

2）字移位指令只有 16 位操作，占用 9 个程序步。

3）n1 和 n2 的关系为 $n2 \leqslant n1 \leqslant 512$。

【例 6-22】（见图 6-55）

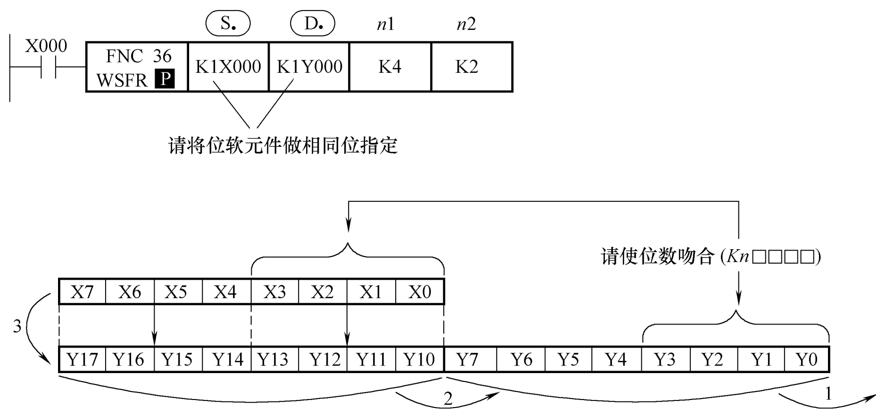


图 6-55　字右、左移指令

5. 移位写入和读出指令

移位写入指令和移位读出指令 SFWR（P）和 SFRD（P）的编号分别为 FNC38 和 FNC39。

使用 SFWR 和 SFRD 指令时应注意：

1）目标操作数可取 KnY、KnM、KnS、T、C、D，源操作数可取所有的数据类型。

2）指令只有 16 位运算，占 7 个程序步。

移位控制示例如图 6-56 所示。

【例 6-23】 登记产品编号时，为了能实现依次入库，物品按照先入先出的原则出库，图 6-56 所示为输出当前应取出产品编号的梯形图。产品编号是 4 位以下十六进制数值，最大库存量在 99 点以下。

来自 X000 ~ X017 的产品编号被传送到 D256。D257 作为指针，D258 ~ D356 的 99 点作为产品编号保存用数据寄存器。对应于出库要求，先入产品编号被输出至 D357 中。应该取出的产品的编号以 4 位十六进制数方式输出到 Y000 ~ Y017 中。

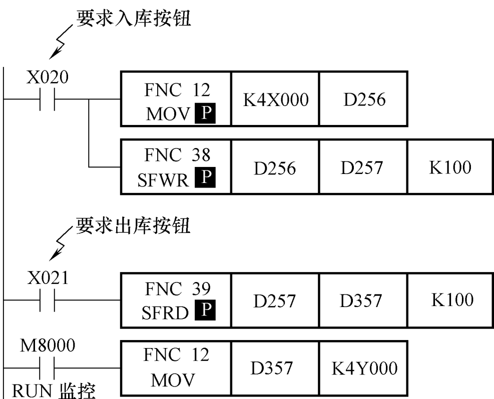


图 6-56　移位控制示例

6.2.5　数据处理指令

数据处理指令（FNC40 ~ FNC49）见表 6-10。

1. 批复位指令

批复位指令或区间复位指令 ZRST（P）

表 6-10　数据处理指令

FNC NO.	指令记号	指 令 名 称	FNC NO.	指令记号	指 令 名 称
40	ZRST	批复位	45	MEAN	平均值
41	DECO	译码	46	ANS	报警器置位
42	ENCO	编码	47	ANR	报警器复位
43	SUM	ON 位数统计	48	SQR	二进制数据开方运算
44	BON	ON 位判别	49	FLT	二进制整数到二进制浮点数转换

的编号为 FNC40，它将指定范围内的同类元件成批复位。批复位指令格式如图 6-57 所示。

X001　ZRST　M0　M20

图 6-57　批复位指令

使用区间复位指令时应注意：

1）［D1.］和［D2.］可取 Y、M、S、T、C、D，且应为同类元件，同时［D1.］的元件号应小于［D2.］指定的元件号。若［D1.］的元件号大于［D2.］的元件号，则只有［D1.］指定元件被复位。

2）ZRST 指令只有 16 位运算，占 5 个程序步，但［D1.］、［D2.］也可以指定 32 位计数器，见表 6-11。

表 6-11　区间复位指令

功能编号	助记符	操作软元件	
		［D1.］	［D2.］
40	ZRST	Y、M、S、T、C、D（D1≤D2）	

【例 6-24】（见图 6-58）

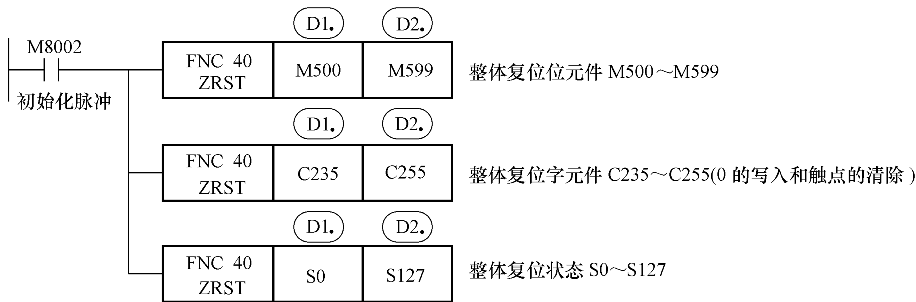


图 6-58　区间复位指令

其他复位指令如图 6-59 所示。

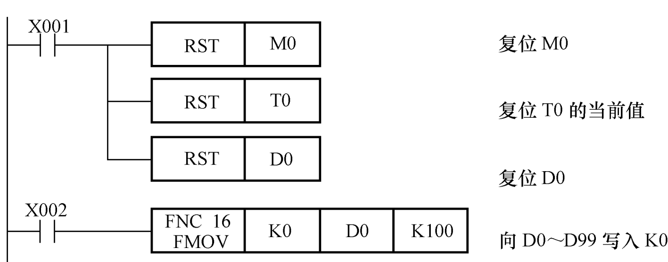


图 6-59　其他复位指令

2. 译码和编码指令

1）译码指令 DECO、DECO（P）指令的编号为 FNC41。如图 6-60 所示，$n=3$ 表示［S.］源操作数为3位，即为 X000、X001、X002。其状态为二进制数，当值为 011 时相当于十进制3，则由目标操作数 M17～M10 组成的8位二进制数的第三位 M13 被置1，其余各位为0。如果为 000 则 M10 被置 1。用译码指令可通过［D.］中的数值来控制元件的ON/OFF。

源地址是 $1+2=3$，因此从 M10 起第3位的 M13 变为 1。源全部为0时，M10 为1，如图6-61 所示。

使用译码指令时应注意：

① 位源操作数可取 X、T、M、S，位目标操作数可取 Y、M、S，字源操作数可取 K、H、T、C、D、V、Z，字目标操作数可取 T、C、D。

② 若［D.］指定的目标元件是字元件 T、C、D，则 $n \leqslant 4$；若是位元件 Y、M、S，则 $n=1$～8。译码指令为16位指令，占7个程序步。

2）编码指令 ENCO、ENCO（P）指令的编号为 FNC42，如图 6-62 所示。

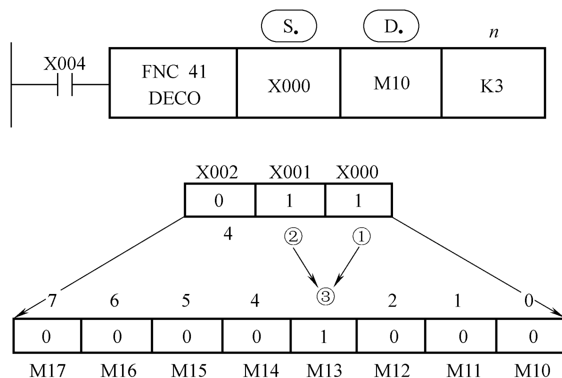


图6-60　译码指令

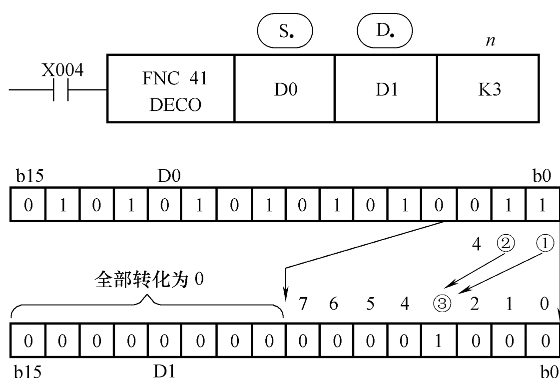
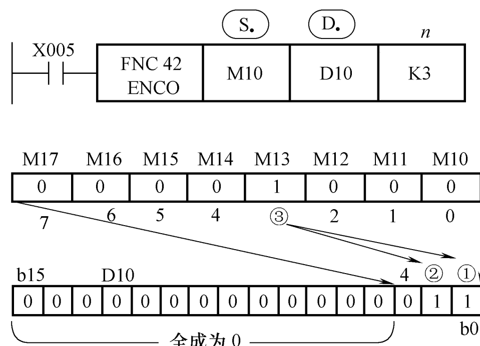


图6-61　译码指令使用



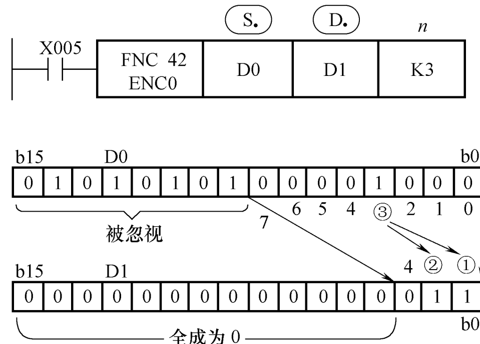


图6-62　编码指令使用

使用编码指令时应注意：

① 源操作数是字元件时，可以是 T、C、D、V、Z；源操作数是位元件时，可以是 X、Y、M、S。目标元件可取 T、C、D、V、Z。编码指令为16位指令，占7个程序步。

② 操作数为字元件时应使用 $n \leq 4$，为位元件时则 $n=1\sim8$，$n=0$ 时不作处理。

③ 若指定源操作数中有多个 1，则只有最高位的 1 有效。

3. ON 位数统计和ON 位判别指令

1）ON 位数统计指令 SUM、（D）SUM（P）指令的编号为 FNC43，该指令用来统计指定元件中 1 的个数，如图 6-63 所示。

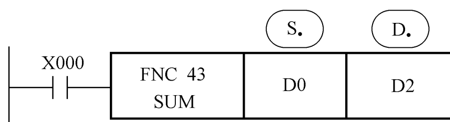


图 6-63　ON 位数统计指令

D0 中 1 的个数存入 D2 中，无 1 时零位标志 M8020 会动作，如图 6-64 所示。

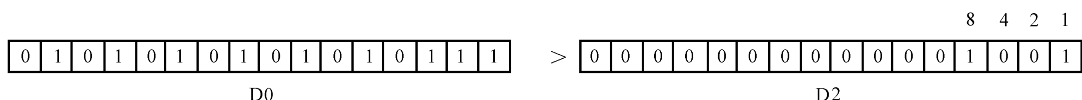


图 6-64　ON 位数统计指令执行结果

使用 SUM 指令时应注意：

① 源操作数可取所有数据类型，目标操作数可取 K*n*Y、K*n*M、K*n*S、T、C、D、V、Z。

② 16 位运算时占 5 个程序步，32 位运算时则占 9 个程序步。

2）ON 位判别指令 BON（D）、BON（P）指令的编号为 FNC44，它的功能是检测指定元件中的指定位是否为 1。如图 6-65 所示，当 X000 有效时，执行 BON 指令，由 K15 决定检测的是源操作数 D10 的第 15 位；当检测结果为 1 时，则目标操作数 M0 = 1，否则 M0 = 0。

D10 中的第 15 位为 1（ON）时，M0 动作；X000 为 OFF 时 M0 不变化，如图 6-66 所示。

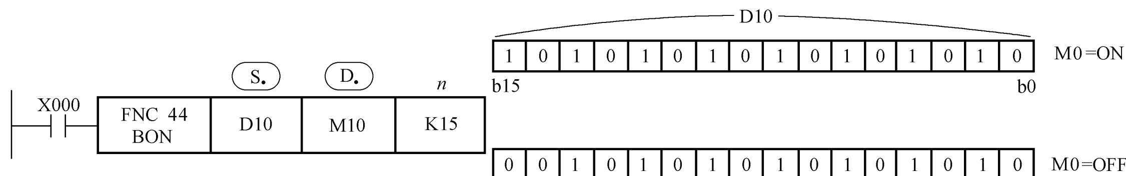


图 6-65　ON 位判别指令

图 6-66　ON 位判别指令执行结果

使用 BON 指令时应注意：

① 源操作数可取所有数据类型，目标操作数可取 Y、M、S。

② 进行 16 位运算，占 7 程序步，$n=0\sim15$；32 位运算时则占 13 个程序步，$n=0\sim31$。

4. 平均值指令

平均值指令（D）MEAN（P）的编号为 FNC45，其作用是将 n 个源数据的平均值送到指定目标（余数省略）。若程序中指定的 n 值超出 1～64 的范围，将会出错，如图 6-67 所示。

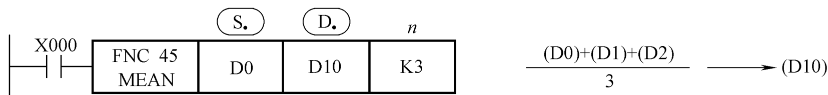


图 6-67　平均值指令

5. 报警器置位与复位指令

报警器置位指令 ANS（P）和报警器复位指令 ANR（P）的编号分别为 FNC46 和 FNC47，报警器置位指令如图 6-68 所示。

如果 X000 和 X001 同时接通 1s 以上，则 S900 被置位；以后即使 X000 或 X001 为 OFF 时，S900 仍保持动作状态。若不满 1s，则 X000 或 X001 变为 OFF 时，报警器复位，如图 6-69 所示。

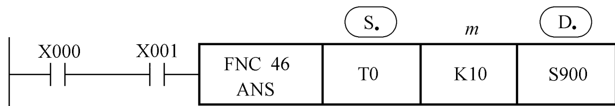


图 6-68　报警器置位指令

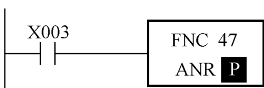


图 6-69　报警器复位指令

如果 X003 接通，则信号报警器 S900 ~ S999 中正在动作的报警点被复位。如果同时有多个报警点动作，则复位最新的一个报警点。若将 X003 再次接通，则下一编号的状态被复位。若采用 ANR 指令，则在各扫描周期中按顺序复位。

使用报警器置位与复位指令时应注意：

1）ANS 指令的源操作数为 T0 ~ T199，目标操作数为 S900 ~ S999，$n = 1 \sim 32767$；ANR 指令无操作数。

2）ANS 指令为 16 位运算指令，占 7 个程序步；ANR 指令为 16 位运算指令，占 1 个程序步。

3）ANR 指令如果连续执行，则会按扫描周期依次逐个将报警器复位。

6. 二进制数据开方运算指令

二进制平方根指令（D）SQR（P）的编号为 FNC48，如图 6-70 所示。

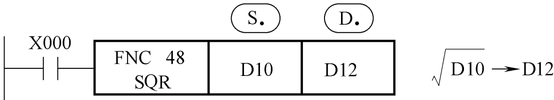


图 6-70　二进制平方根指令

使用 SQR 指令时应注意：

1）源操作数可取 K、H、D，数据需大于 0，目标操作数为 D。

2）16 位运算占 5 个程序步，32 位运算占 9 个程序步。

7. 二进制整数到二进制浮点数转换指令

二进制整数到二进制浮点数转换指令 FLT、（D）FLT（P）的编号为 FNC49，这个指令的逆变换指令是 FNC129（INT），如图 6-71 所示。

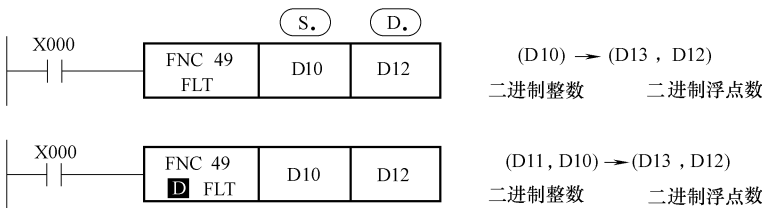


图 6-71　二进制整数到二进制浮点数转换指令

使用 FLT 指令时应注意：

1）源和目标操作数均为 D。

2）16 位运算占 5 个程序步，32 位运算占 9 个程序步。

6.2.6 高速处理指令

高速处理指令（FNC50～FNC59）见表 6-12。

表 6-12 高速处理指令

FNC NO.	指令记号	指 令 名 称	FNC NO.	指令记号	指 令 名 称
50	REF	输入输出刷新	55	HSZ	区间比较(高速计数器)
51	REFF	滤波调整	56	SPD	脉冲密度
52	MTR	矩阵输入	57	PLSY	脉冲输出
53	HSCS	比较置位(高速计数器)	58	PWM	脉宽调制
54	HSCR	比较复位(高速计数器)	59	PLSR	可调速脉冲输出

1. 和输入输出有关的指令

1）输入输出刷新指令 REF、REF（P）的编号为 FNC50。FX 系列 PLC 采用集中输入输出的方式，如果需要最新的输入信息以及希望立即输出结果则必须使用该指令。

使用 REF 指令时应注意：

① 目标操作数为元件编号个位为 0 的 X 和 Y，*n* 应为 8 的整倍数。

② 指令只要进行 16 位运算，占 5 个程序步。

输入刷新指令如图 6-72 所示。

在多个输入中，只刷新 X010～X017 的 8 点。如果在该指令执行前约 10ms（输入滤波应答滞后时间）置 X010～X017 为 ON，则该指令执行时输入映像存储区 X010～X017 为 ON。

输出刷新指令如图 6-73 所示。

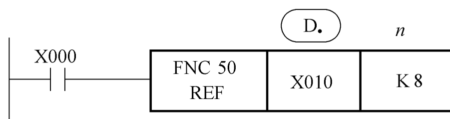


图 6-72 输入刷新指令

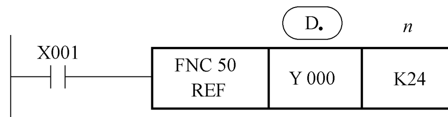


图 6-73 输出刷新指令

在多个输出中，Y000～Y007、Y010～Y017、Y020～Y027 的 24 点被刷新。Y000～Y027 中的任何一点若为 ON，则该指令执行时输出锁存存储区的该输出也为 ON。

2）滤波调整指令 REFF、REFF（P）的编号为 FNC51。在 FX 系列 PLC 中 X00～X017 使用了数字滤波器，用 REFF 指令可调节其滤波时间，范围为 0～60ms（实际上由于输入端有 RL 滤波，所以最小滤波时间为 50μs）。

使用 REFF 指令时应注意：

① REFF 为 16 位运算指令，占 7 个程序步。

② 当 X000～X007 用作高速计数输入时或使用 FNC56 速度检测指令以及中断输入时，输入滤波器的滤波时间自动设置为 50ms，如图 6-74 所示。

X010 为 ON 时，输入滤波器为 1ms，刷新输入 X000～X017 的映像存储区。从 0 步到该

指令作为滤波 10ms 处理。

从 M8000 触点后，到 END 或 FEND 指令输入滤波为 20ms。

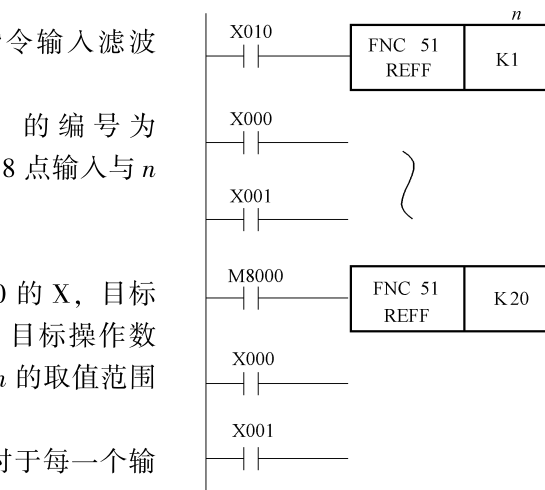


图 6-74　滤波调整指令

3）矩阵输入指令 MTR、MTR（P）的编号为 FNC52。利用 MTR 指令可以构成连续排列的 8 点输入与 n 点输出组成的 8 列 n 行的输入矩阵。

使用 MTR 指令时应注意：

① 源操作数［S.］是元件编号个位为 0 的 X，目标操作数［D1.］是元件编号个位为 0 的 Y，目标操作数［D2.］是元件编号个位为 0 的 Y、M 和 S，n 的取值范围是 2～8。

② 考虑到输入滤波应答延迟为 10ms，对于每一个输出按 20ms 顺序中断，立即执行。

③ 利用本指令通过 8 点晶体管输出获得 64 点输入，但读一次 64 点输入所许时间为 20ms×8＝160ms，不适应高速输入操作。

④ 该指令只有 16 位运算，占 9 个程序步，如图 6-75 所示。

图 6-75 中，n＝3 点的输出 Y020、Y021、Y022 依次反复 ON。每次依次反复获得第 1 列、第 2 列、第 3 列的输入，存入 M30～M37、M40～M47、M50～M57。

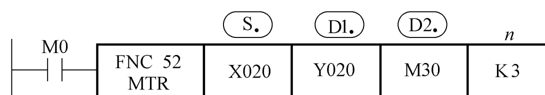


图 6-75　矩阵输入指令

2. 高速计数器指令

1）高速计数器比较置位指令 HSCS、DHSCS 的编号为 FNC53，它应用于高速计数器的置位，使计数器的当前值达到预置值时，计数器的输出触点立即动作。它采用了中断方式使置位和输出立即执行而与扫描周期无关。

高速计数器是根据计数输入的 OFF、ON 以中断方式计数的。计数器的当前值等于设定值时，计数器的输出触点立即工作。如图 6-76 中，当不使用 FNC53 指令时，向外部输出与顺控有关，受扫描周期的影响。

使用 FNC53 指令，能以中断方式处理外部输出，所以 C255 的当前值由 99 变为 100 或由 101 变为 100 时，Y010 立即置位。

2）高速计速器比较复位指令 HSCR、DHSCR 的编号为 FNC54。如图 6-77 所示，C255 的当前值由 199 变为 200 或由 201 变为 200 时，不受扫描周期的影响，则用中断的方式使 Y10 立即复位。

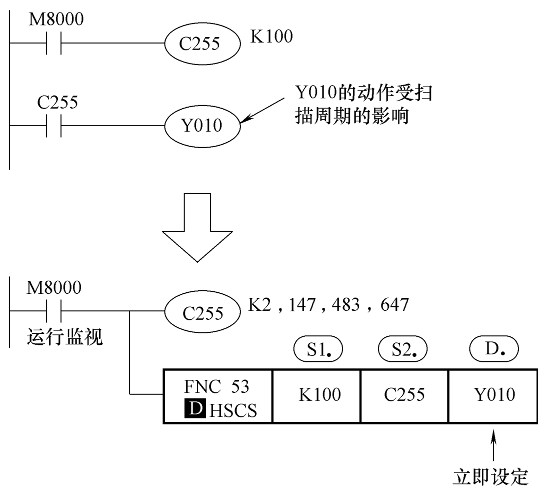


图 6-76　高速计数器置位指令

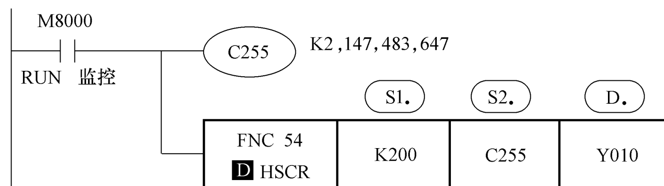


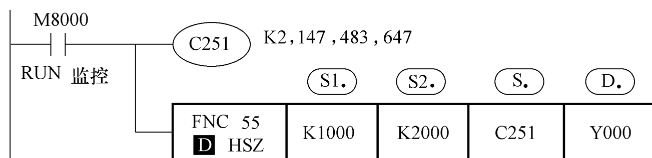
图 6-77　高速计数器比较复位指令

使用 HSCS 和 HSCR 指令时应注意：

① 源操作数［S1.］可取所有数据类型，［S2.］为 C235 ~ C255，目标操作数可取 Y、M、S。

② 只有 32 位运算，占 13 个程序步。

3）高速计数器区间比较指令 HSZ、(D) HSZ 指令的编号为 FNC55，如图 6-78 所示。



<比较输出的动作>

K1000 ＞C251当前值	Y000	ON
K1000≤C251当前值≤K2000	Y001	ON
K1000＜C251当前值	Y002	ON

图 6-78　高速计数器区间比较指令

K1000 > C251 当前值时，Y000 为 ON。此外，C255 当前值由 999 变为 1000 或由 1999 变为 2000 时，输出 Y001 或 Y002 立即为 ON。这些输出不受扫描周期的影响。

使用高速计速器区间比较指令时应注意：

① 操作数［S1.］、［S2.］可取所有数据类型，［S.］为 C235 ~ C255，目标操作数［D.］可取 Y、M、S。

② 指令为 32 位运算，占 17 个程序步。

3. 速度检测指令

速度检测指令 SPD 的编号为 FNC56，它的功能是用来检测给定时间内从编码器输入的脉冲个数，并计算出速度，如图 6-79 所示。

在图 6-79 中，X000 置 ON 时，D1 对 X000 的 OFF 到 ON 动作计数，100ms 后将其结果存入 D0。随之 D1 复位，再次对 X000 的动作计数。D2 用于测定剩余时间。

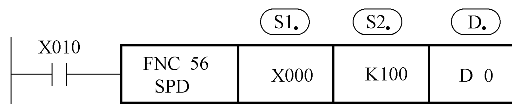


图 6-79　速度检测指令

使用速度检测指令时应注意：

1）［S1.］为 X000 ~ X005，［S2.］可取所有的数据类型，［D.］可以是 T、C、D、

V、Z。

2）指令只有 16 位运算，占 7 个程序步。

4. 脉冲输出指令

脉冲输出指令（D）PLSY 的编号为 FNC57，它用来产生指定数量的脉冲，如图 6-80 所示。

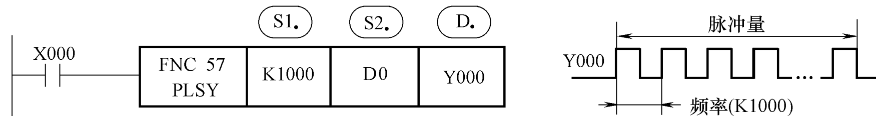


图 6-80　脉冲输出指令

［S1.］指定频率；［S2.］指定产生脉冲量；［D.］指定输出脉冲的 Y 编号。

使用脉冲输出指令时应注意：

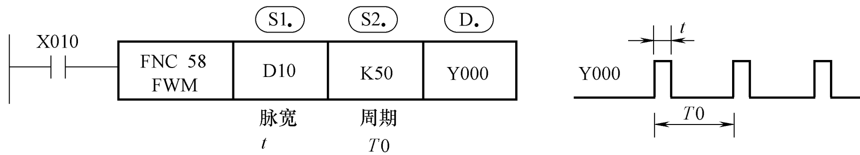
1）［S1.］、［S2.］可取所有的数据类型，［D.］为 Y001 和 Y002。

2）该指令可进行 16 和 32 位运算，分别占用 7 个和 13 个程序步。

3）本指令在程序中只能使用一次。

5. 脉宽调制指令

脉宽调制指令 PWM 的编号为 FNC58，它的功能是用来产生指定脉冲宽度和周期的脉冲串，如图 6-81 所示。



(S1.) 指定脉宽 t =0～32，767ms

(S2.) 指定周期 $T0$ =0～32，767ms，但 (S1.)≤(S2.)

(D.) 指定脉冲输出的Y号码

只有Y000或Y001有效(请作为晶体管输出型的输出)

图 6-81　脉宽调制指令

图 6-81 中，使 D10 的内容从 0～50 变化时，Y000 输出脉冲的占空比为 0～100%（D10）的内容超过 50 时，就出现错误。X010 置于 OFF 时，Y000 为 OFF。

使用脉宽调制指令时应注意：

1）操作数的类型与 PLSY 指令相同，该指令只有 16 位运算，占用 7 个程序步。

2）［S1.］应小于［S2.］。

6. 可调速脉冲输出指令

可调速脉冲输出指令（D）PLSR 指令的编号为 FNC59。该指令可以对输出脉冲进行加速调整，也可进行减速调整。它的源操作数和目标操作数的类型和 PLSY 指令相同，只能用于晶体管 PLC 的 Y000 和 Y001，可进行 16 位运算也可进行 32 位运算，分别占 9 个和 17 个

程序步，该指令只能用一次，如图 6-82 所示。

6.2.7 其他功能指令

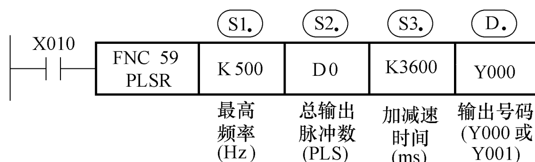


图 6-82 可调速脉冲输出指令该指令

1. 方便指令（FNC60 ~ FNC69）

FX 系列 PLC 共有 10 条方便指令 FNC60 ~ FNC69，备有利用最简单的顺控程序进行复杂控制的方便指令。具体包括初始化指令 IST（FNC60）、数据搜索指令 SER（FNC61）、绝对值式凸轮顺控指令 ABSD（FNC62）、增量式凸轮顺控指令 INCD（FNC63）、示教定时指令 TIMR（FNC64）、特殊定时器指令 STMR（FNC65）、交替输出指令 ALT（FNC66）、斜坡信号指令 RAMP（FNC67）、旋转工作台控制指令 ROTC（FNC68）和数据排序指令 SORT（FNC69），见表 6-13。

表 6-13 方便指令

FNC NO.	指令记号	指 令 名 称	FNC NO.	指令记号	指 令 名 称
60	IST	初始化	65	STMR	特殊定时器
61	SER	数据搜索	66	ALT	交替输出
62	ABSD	凸轮顺控(绝对值方式)	67	RAMP	斜坡信号
63	INCD	凸轮顺控(增量方式)	68	ROTC	旋转工作台控制
64	TTMR	示教定时器	69	SORT	数据排序

下面仅对其中部分指令加以介绍。

（1）凸轮顺控指令

凸轮顺控指令有绝对值式凸轮顺控指令 ABSD（FNC62）和增量式凸轮顺控指令 INCD（FNC63）两条。绝对值式凸轮顺控指令 ABSD 用来产生一组对应于计数值在 360°范围内变化的输出波形，输出点的个数由 n 决定。凸轮顺控指令源操作数［S1.］可取 KnX、KnY、KnM、KnS、T、C、D，［S2.］可取 C，目标操作数可取 Y、M 和 S。它为 16 位操作指令，占 9 个程序步。

（2）定时器指令

定时器指令有示教定时器指令 TTMR（FNC64）和特殊定时器指令 STMR（FNC65）两条。使用示教定时器指令 TTMR 时，可用一个按钮来调整定时器的设定时间。特殊定时器指令 STMR 用来产生延时断开定时器、单脉冲定时器和闪动定时器。

（3）交替输出指令

交替输出指令 ALT（P）的编号为 FNC66，用于实现由一个按钮控制负载的起动和停止。

2. 外部I/O 设备指令（FNC70 ~ FNC79）

外部 I/O 设备指令是 FX 系列 PLC 与外设传递信息的指令，共有 10 条，分别是 10 键输入指令 TKY（FNC70）、16 键输入指令 HKY（FNC71）、数字开关输入指令 DSW（FNC72）、七段译码指令 SEGD（FNC73）、带锁存的七段显示指令 SEGL（FNC74）、方向开关指令 ARWS（FNC75）、ASCII 码转换指令 ASC（FNC76）、ASCII 码打印指令 PR（FNC77）、特殊功能模块读指令 FROM（FNC78）和特殊功能模块写指令 TO（FNC79），见表 6-14。

表 6-14　外部 I/O 设备指令

FNC NO.	指令记号	指令名称	FNC NO.	指令记号	指令名称
70	TKY	10 键输入	75	ARWS	方向开关
71	HKY	16 键输入	76	ASC	ASCⅡ码转换
72	DSW	数字开关输入	77	PR	ASCⅡ码打印
73	SEGD	七段译码	78	FROM	特殊功能模块读
74	SEGL	带锁存的七段显示	79	TO	特殊功能模块写

FNC70 ~ FNC79 指令主要为使用 PLC 的 I/O 设备与外部设备进行数据交换的指令，这些指令通过最小的程序与外部布线可以简单地进行复杂的控制，因此具有与上述方便指令近似的特性。此外，为了控制特殊单元与特殊模块，不可少的 FROM、TO 指令也包含在其中。

（1）数据输入指令

数据输入指令有 10 键输入指令 TKY（FNC70）、16 键输入指令 HKY（FNC71）和数字开关输入指令 DSW（FNC72）。

10 键输入指令 TKY 的使用如图 6-83 所示。源操作数［S.］用 X000 为首元件，10 个键 X000 ~ X009 分别为对应数字 0 ~ 9。X030 接通时执行 TKY 指令，如果以 X002（2）、X009（8）、X003（3）、X00（0）的顺序按键，则［D1.］中存入的数据为 2830，实现了将按键变成十进制数。若送入的数大于 9999，则高位溢出并丢失。使用 32 位指令 DTKY 时，［D1.］和［D2.］组合使用，若高位大于 99999999，则高位溢出。

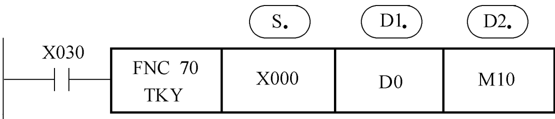


图 6-83　10 键输入指令的使用

M10 ~ M19 动作对应于 X000 ~ X011。任一键按下，键信号置 1 直到该键放开（如当按下 X002 后，M12 置 1 并保持至另一键被按下，其他键也一样）。当两个或更多个键被按下时，则首先按下的键有效。X030 变为 OFF 时，D0 中的数据保持不变，但 M10 ~ M20 全部为 OFF。此指令的源操作数可取 X、Y、M、S，目标操作数［D.］可取 K*n*Y、K*n*M、K*n*S、T、C、D、V、Z，［D2.］可取 Y、M、S。16 位运算时占 7 个程序步，32 运算时占 13 个程序步。该指令在程序中只能使用一次。

16 键输入指令（D）HKY 的作用是通过对键盘上的数字键和功能键输入的内容实现输入的复合运算。

数字开关输入指令 DSW 的功能是读入 1 组或 2 组 4 位数字开关的设置值。

（2）数字译码输出指令

数字译码输出指令有七段译码指令 SEGD（FNC73）和带锁存的七段显示指令 SEGL（FNC74）两条。

七段译码指令 SEGD（P）如图 6-84 所示，将［S.］指定元件的低 4 位所确定的十六进制数（0 ~ F）经译码后存于［D.］指定的元件中，以驱动七段显示器，［D.］的高 8 位保持不变。如果要显示 0，则应在 D0 中放入数据 3FH。

带锁存的七段显示指令 SEGL 的作用是，用 12 个扫描周期的时间来控制一组或两组带锁存的七段译码显示。

（3）方向开关指令

方向开关指令 ARWS（FNC75）用于方向开关的输入和显示。如图 6-85 所示，该指令有 4 个参数，源操作数［S.］可选 X、Y、M、S。图 6-85 中选择 X10 开始的 4 个按钮，位左移键和右移键用来指定输入的位，增加键和减少键用来设定指定位的数值。X0 接通时指定的是最高位，按一次右移键或左移键可移动一位。指定位的数据可由增加键和减少键来修改，其值可显示在七段显示器上。目标操作数［D1.］为输入的数据，由 7 段显示器监视其中的值（操作数可用 T、C、D、V、Z），［D2.］只能用 Y 作操作数，$n=0\sim3$ 的确定方法与 SEGL 指令相同。ARWS 指令只能使用一次，而且必须用于晶体管输出型 PLC。

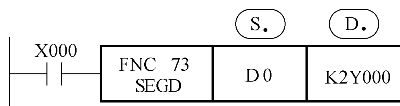


图 6-84　七段译码指令的使用

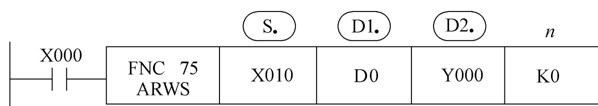


图 6-85　方向开关指令的使用

（4）ASCII 码转换指令

ASCII 码转换指令 ASC（FNC76）的功能是将字符变换成 ASCII 码，并存放在指定的元件中。如图 6-86 所示，当 X000 有效时，则将 A ~ H 变成 ASCII 码并送入 D300 和 D303 中。源操作数是 8B 以下的字母或数字，目标操作数为 T、C、D，它只有 16 位运算，占用 11 个程序步。



图 6-86　ASCⅡ码转换指令的使用

（5）ASCII 码打印指令

ASCII 码打印指令 PR（FNC77）的功能是将指令单元的 ASCII 码送到输出端。通常 PR 指令只能送 8 个字符的 ASCII 码，但令 16 位字方式标志 M8027 置 1 时，PR 指令也可以一次送 16 个字符的 ASCII 码。ASCII 码打印指令的使用如图 6-87 所示。

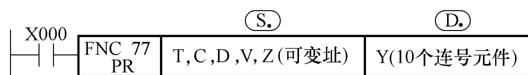
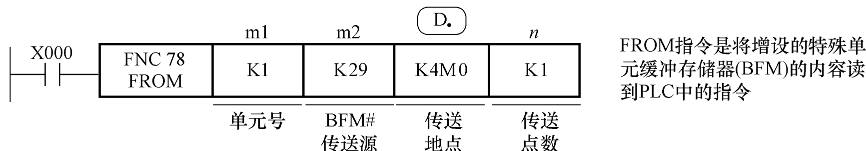


图 6-87　ASCⅡ码打印指令的使用

（6）特殊功能模块读指令

特殊功能模块读指令 FROM（FNC78）如图 6-88 所示。



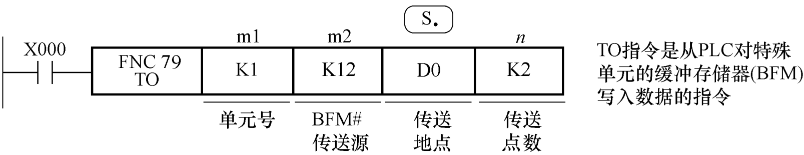
• 从特殊单元(模块)No.1的缓冲存储器(BFM)#29中读出16位数据传送至PLC的K4M0中。

• X000=ON时，执行读出；X000=OFF时，不执行传送，传送地点的数据不变化。脉冲指令执行后也同样。

图 6-88　特殊功能模块读指令

(7) 特殊功能模块写指令

特殊功能模块写指令 TO（FNC79）如图 6-89 所示。



• 对特殊单元(模块)No.1的缓冲存储器(BFM)#13、#12写入PLC(D1,D0)的32位数据。

• X000=ON时,执行写入;X000=OFF时,不执行传送,传送地点的数据不变化。脉冲指令执行后也如此。位元件的数指定是K1～K4(16位指令)、K1～K8(32位指令)。

图 6-89　特殊功能模块写指令

3. 外部设备（SER）指令（FNC80～FNC89）

外部设备（SER）指令包括串行数据传送指令 RS（FNC80）、八进制数据传送指令 PRUN（FNC81）、HEX→ASCII 码转换指令 ASCI（FNC82）、ASCII 码→HEX 转换指令 HEX（FNC83）、校验码指令 CCD（FNC84）、模拟量输入指令 VRRD（FNC85）、模拟量开关设定指令 VRSC（FNC86）和 PID 运算指令 PID（FNC88）8 条指令，见表 6-15。

表 6-15　外部设备指令

FNC NO.	指令记号	指 令 名 称	FNC NO.	指令记号	指 令 名 称
80	RS	串行数据传送	85	VRRD	模拟量输入
81	PRUM	八进制数据传送	86	VRSC	模拟量开关设定
82	ASCI	HEX →ASCII 码转换	87	—	—
83	HEX	ASCII 码→HEX 转换	88	PID	PID 运算
84	CCD	校验码	89	—	—

FNC80～FNC89 指令用于对连接于串行口的特殊适配器进行控制的指令。另外，PID 运算指令也包含在其中。

(1) 八进制数据传送指令

八进制数据传送指令（D）PRUN（P）（FNC81）用于八进制数的传送。如图 6-90 所示，当 X030 为 ON 时，将 X000～X017 内容送至 M0～M7 和 M10～M17（因为 X 为八进制，故 M9 和 M8 的内容不变）。源操作数可取 KnX、KnM，目标操作数取 KnY、KnM，n = 1～8，16 位和 32 位运算分别占用 5 个和 9 个程序步。

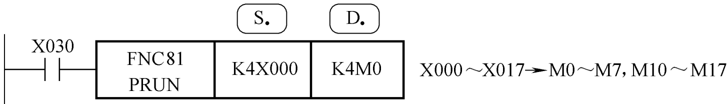


图 6-90　八进制数据传送指令的使用

(2) 十六进制数与 ASCII 码转换指令

十六进制数与 ASCII 码转换指令包括 HEX→ASCII 码转换指令 ASCI（FNC82）和

ASCII→HEX 转换指令 HEX（FNC83）。

HEX→ASCII 码转换指令 ASCI（P）的功能是将源操作数［S.］中的内容（十六进制数）转换成 ASCII 码放入目标操作数［D.］中。如图 6-91 所示，n 表示要转换的字符数（n = 1 ~ 256）。M8161 控制采用 16 位或 8 位模式：16 位模式时，每 4 个 HEX 占用 1 个数据寄存器，转换后每两个 ASCII 码占用一个数据寄存器；8 位模式时，转换结果传送到［D.］的低 8 位，其高 8 位为 0。PLC 运行时 M8000 为 ON，M8161 为 OFF，此时为 16 位模式。当 X010 为 ON 时，则执行 ASCI 指令。如果放在 D100 中的 4 个字符为 OABC，则执行后将其转换为 ASCII 码送入 D200 和 D201 中，D200 高位放 A 的 ASCII 码 41H，低位放 O 的 ASCII 码 30H，D201 则放 BC 的 ASCII 码，C 放在高位。该指令的源操作数可取所有数据类型，目标操作数可取 KnY、KnM、KnS、T、C、D。它只有 16 位运算，占用 7 个程序步。

ASCII 码→HEX 转换指令 HEX（P）的功能与 ASCI 指令相反，是将 ASCII 码表示的信息转换成十六进制的信息。如图 6-92 所示，将源操作数 D200 ~ D203 中放的 ASCII 码转换成 16 进制放入目标操作数 D100 和 D101 中。它只有 16 位运算，占用 7 个程序步。源操作数为 K、H、KnX、KnY、KnM、KnS、T、C、D，目标操作数为 KnY、KnM、KnS、T、C、D、V、Z。

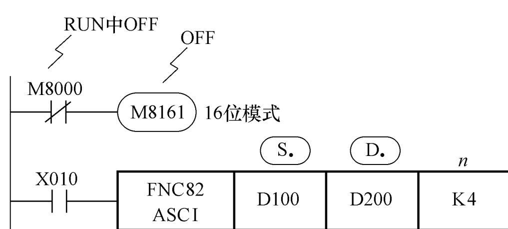


图 6-91　HEX→ASCII 码转换指令的使用

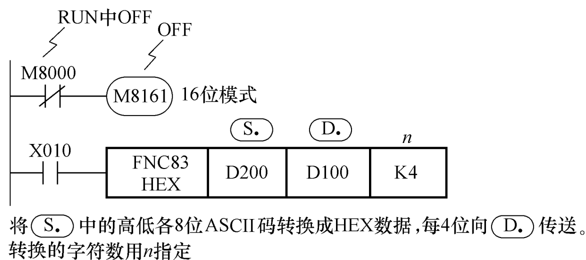


图 6-92　ASCII 码→HEX 转换指令的使用

（3）校验码指令

校验码指令 CCD（P）（FNC84）的功能是对一组数据寄存器中的十六进制数进行总校验和奇偶校验。如图 6-93 所示，它将源操作数［S.］指定的 D100 ~ D102 共 6B 的 8 位二进制数求和并异或，结果分别放在目标操作数［D0.］和［D1.］中。通信过程中可将数据和、异或结果随同发送，对方接收到信息后，先将传送的数据求和并异或，再与收到的和及异或结果比较，以此判断传送信号的正确与否。源操作数可取 KnX、KnY、KnM、KnS、T、C、D，目标操作数可取 KnM、KnS、T、C、D，n 可用 K、H、D，n = 1 ~ 256。它为 16 位运算指令，占用 7 个程序步。

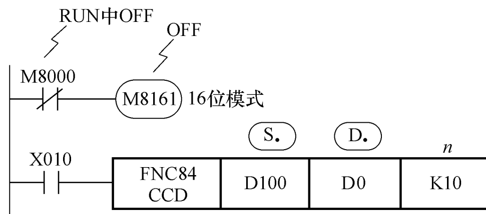


图 6-93　校验码指令的使用

以上 PRUN、ASCI、HEX、CCD 指令常应用于串行通信中，配合 RS 指令使用。

（4）模拟量输入指令

模拟量输入指令 VRRD（P）（FNC85）是用来对 FX_{2N}-8AV-BD　PLC 模拟量功能扩展

板中的电位器数值进行读操作。如图 6-94 所示，当 X000 为 ON 时，读出 FX_{2N}-8AV-BD PLC 中 0 号模拟量的值（由 K0 决定），将其送入 D0 作为 T0 的设定值。源操作数可取 K、H，它用来指定模拟量口的编号，取值范围为 0～7；目标操作数可取 KnY、KnM、KnS、T、C、D、V、Z。该指令只有 16 位运算，占用 5 个程序步。

（5）模拟量开关设定指令

模拟量开关设定指令 VRSC（P）（FNC86）的作用是，将 FX-8AVPLC 中电位器读出的数四舍五入整量化后，以 0～10 之间的整数值存放在目标操作数中。它的源操作数［S.］可取 K 和 H，用来指定模拟量口的编号，取值范围为 0～7；目标操作数［D.］的类型与 VRRD 指令相同。该指令为 16 位运算，占用 9 个程序步。

（6）PID 运算指令

用于进行 PID 控制的 PID 运算程序，如图 6-95 所示。

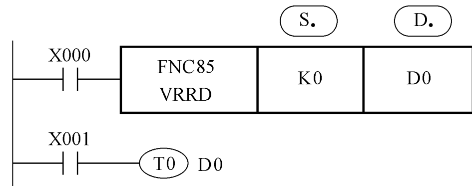


图 6-94　模拟量输入指令的使用

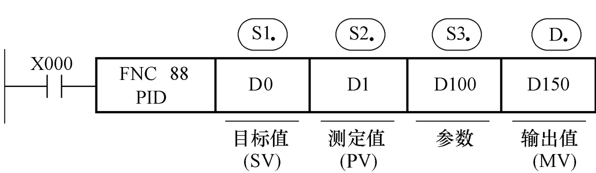


图 6-95　PID 运算指令

执行程序时，运算结果（MV）被存入（D）中。

4. 浮点运算指令

浮点数运算指令包括浮点数的比较、四则运算、开方运算和三角函数等功能，它们分布在指令编号为 FNC110～FNC119、FNC120～FNC129、FNC130～FNC139 之中。浮点运算指令见表 6-16。

表 6-16　浮点运算指令

FNC NO.	指令记号	指 令 名 称	FNC NO.	指令记号	指 令 名 称
110	ECMP	二进制浮点数比较	115	—	—
111	EZCP	二进制浮点数区间比较	116	—	—
112	—	—	117	—	—
113	—	—	118	EBCD	二进制浮点数→十进制浮点数转换
114	—	—	119	EBIN	十进制浮点数→二进制浮点数转换

（1）二进制浮点数比较指令 ECMP（FNC110）、DECMP（P）

指令的使用如图 6-96 所示，将两个源操作数进行比较，比较结果反映在目标操作数中。如果操作数为常数，则自动转换成二进制浮点数处理。该指令源操作数可取 K、H、D，目标操作数可用 Y、M、S。它为 32 位运算指令，占用 17 个程序步。

（2）二进制浮点数区间比较指令 EZCP（FNC111）、EZCP（P）

指令的功能是将源操作数的内容与用二进制浮点数指定的上下两点的范围进行比较，对应的结果用 ON/OFF 反映在目标操作数上，如图 6-97 所示。该指令为 32 位运算指令，占用 17 个程序步。源操作数可以是 K、H、D；目标操作数为 Y、M、S。［S1.］应小于［S2.］，

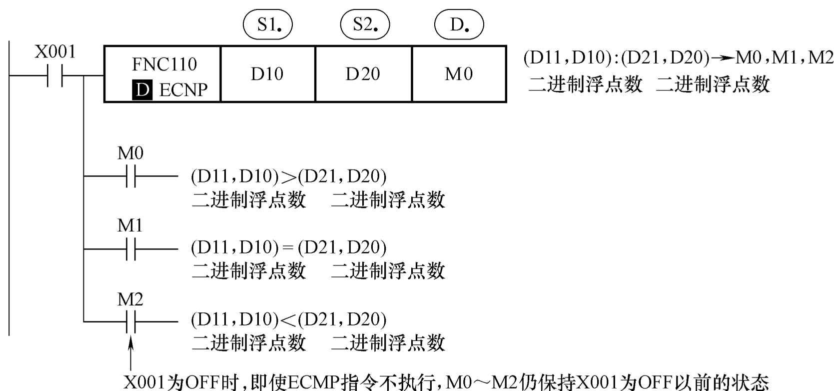


图 6-96　二进制浮点数比较指令的使用

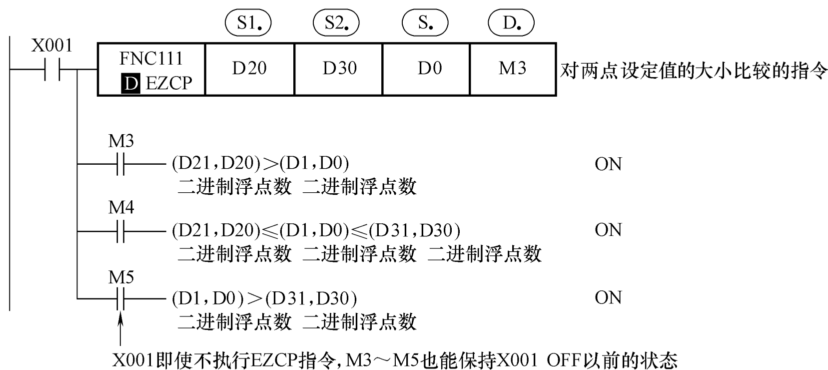


图 6-97　二进制浮点数区间比较指令的使用

操作数为常数时，将被自动转换成二进制浮点数进行处理。

（3）二进制浮点数的运算指令

浮点数的四则运算指令有加法指令 EADD（FNC120）、减法指令 ESUB（FNC121）、乘法指令 EMUL（FNC122）和除法指令 EDIV（FNC123）这 4 条指令，它们都将两个源操作数中的浮点数进行运算后送入目标操作数。当除数为 0 时出现运算错误，不执行指令。此类指令只有 32 位运算，占用 13 个程序步。运算结果影响标志位 M8020（零标志）、M8021（借位标志）、M8022（进位标志）。源操作数可取 K、H、D，目标操作数为 D。如有常数参与运算则自动转化为浮点数。

二进制浮点数运算还有开方、三角函数运算等指令，在此不一一说明，见表 6-17。

5. 定位指令（FNC150 ~ FNC159）

在 FNC150 ~ FNC159 指令中，有可用于执行 PLC 内置式脉冲输出功能的定位指令，见表 6-18。

6. 时钟运算指令（FNC160 ~ FNC169）

FNC160 ~ FNC169 指令是对时钟数据进行运算和比较的指令，另外还能对 PLC 内置的实时时钟进行时间校准和时钟数据格式化操作，见表 6-19。

表 6-17　二进制浮点数运算指令

FNC　NO.	指令记号	指 令 名 称	FNC　NO.	指令记号	指 令 名 称
120	EADD	二进制浮点数加法	135	—	—
121	ESUB	二进制浮点数减法	136	—	—
122	EMUL	二进制浮点数乘法	137	—	—
123	EDIV	二进制浮点数除法	138	—	—
124	—	—	139	—	—
125	—	—	140	—	—
126	—	—	141	—	—
127	ESOR	二进制浮点数开方	142	—	—
128	—	—	143	—	—
129	INT	二进制浮点数-BIN 整数转换	144	—	—
130	SIN	浮点 Sin 运算	145	—	—
131	COS	浮点 Cos 运算	146	—	—
132	TAN	浮点 Tan 运算	147	SWAP	上下字节变换
133	—	—	148	—	—
134	—	—	149	—	—

表 6-18　定位指令

FNC NO.	指令助记符	指 令 名 称	FNC NO.	指令助记符	指 令 名 称
150	—	—	155	ABS	ABS 当前值读取
151	—	—	156	ZRN	原点回归
152	—	—	157	PLSV	可变速脉冲输出
153	—	—	158	DRVI	相对位置控制
154	—	—	159	DRVA	绝对位置控制

表 6-19　时钟运算指令

FNC NO.	指令助记符	指 令 名 称	FNC NO.	指令助记符	指 令 名 称
160	TCMP	时钟数据比较	165	—	—
161	TZCP	时钟数据区域比较	166	TRD	时钟数据读取
162	TADD	时钟数据加法运算	167	TWR	时钟数据写入
163	TSUB	时钟数据减法运算	168	—	—
164	—	—	169	HOUR	计时表

（1）时钟数据比较指令 TCMP（FNC160）、TCMP（P）

它的功能是用来比较指定时刻与时钟数据的大小。如图 6-98 所示，将源操作数［S1.］、［S2.］、［S3.］中的时间与［S.］起始的 3 点时间数据比较，根据它们的比较结果决定目标操作数［D.］中起始的 3 点单元中取 ON 还是 OFF 的状态。该指令只有 16 位运算，占用 11 个程序步。它的源操作数可取 T、C、D，目标操作数可以是 Y、M、S。

（2）时钟数据加法运算指令 TADD（FNC162）、TADD（P）

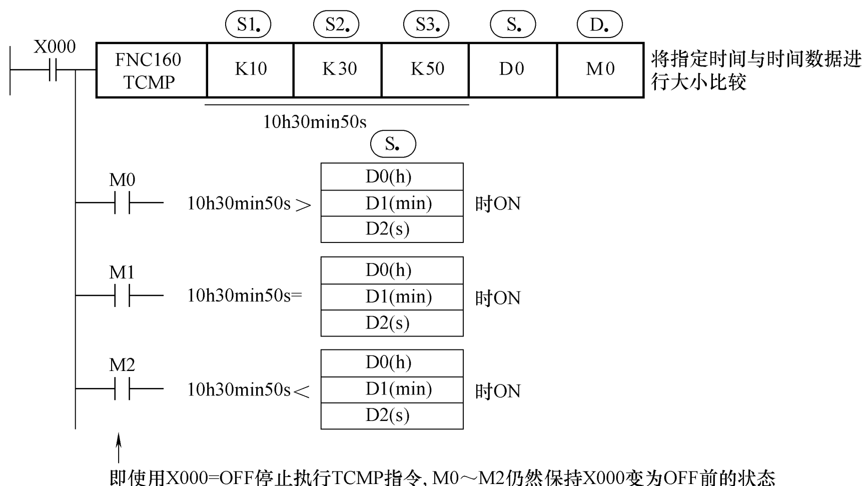


图 6-98　时钟数据比较指令的使用

指令的功能是将两个源操作数的内容相加结果送入目标操作数。源操作数和目标操作数均可取 T、C、D。TADD 为 16 位运算，占用 7 个程序步。如图 6-99 所示，将［S1.］指定的 D10～D12 和 D20～D22 中所放的时、分、秒相加，把结果送入［D.］指定的 D30～D32 中。当运算结果超过 24h 时，进位标志位变为 ON，将进行加法运算的结果减去 24h 后作为保存结果。

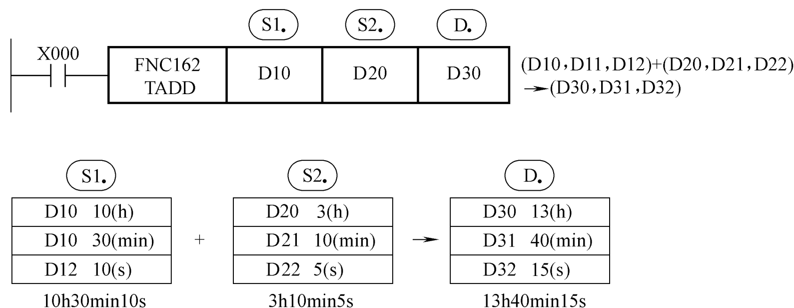


图 6-99　时钟数据加法运算指令的使用

（3）时钟数据读取指令 TRD（FNC166）、TRD（P）

该指令为 16 位运算，占用 7 个程序步。［D.］可取 T、C、D。它的功能是读出内置实时时钟的数据放入由［D.］开始的 7 个字内。如图 6-100 所示，当 X000 为 ON 时，将实时时钟（它们以年、月、日、时、分、秒、星期的顺序存放在特殊辅助寄存器 D8013～8019 中）传送到 D0～D6 中。

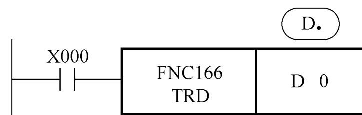


图 6-100　时钟数据读取指令的使用

7. 格雷码转换及模拟量模块专用指令（见表 6-20）

（1）格雷码转换和逆转换指令

这类指令有 2 条，即 GRY（FNC170）和 GBIN（FNC171），常用于处理光电码盘的数据。（D）GRY（P）指令的功能是将二进制数转换为格雷码，（D）GBIN（P）指令则是 GRY

表 6-20　格雷码转换及模拟量模块专用指令

FNC NO.	指令助记符	指令名称	FNC NO.	指令助记符	指令名称
170	GRY	格雷码变换	174	—	—
171	GBIN	格雷码逆变换	175	—	—
172	—	—	176	RD3A	模拟模块读出
173	—	—	177	WR3A	模拟模块写入

指令的逆变换。如图 6-101 所示，GRY 指令是将源操作数［S.］中的二进制数变成格雷码放入目标操作数［D.］中，而 GBIN 指令与其相反。它们的源操作数可取任意数据格式，目标操作数为 K*n*Y、K*n*M、K*n*S、T、C、D、V、Z。16 位操作时占用 5 个程序步，32 位操作时占用 9 个程序步。

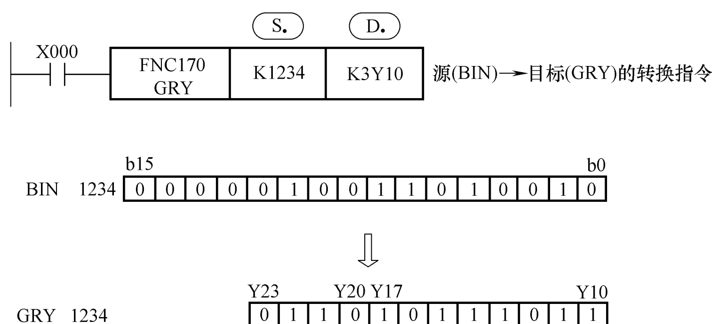
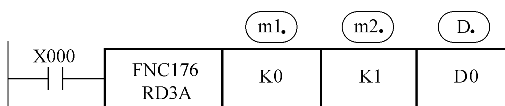


图 6-101　格雷码转换指令的使用

（2）模拟量模块读写指令

这类指令有 2 条，即 RD3A（FNC176）和 WR3A（FNC177），其功能是对 FX_{0N}-3A 模拟量模块输入值读取和对模块写入数字值。如图 6-102 所示，［m1.］为特殊模块号 K0～K7，［m2.］为模拟量输入通道 K1 或 K2，［D.］为保存读取的数据，［S.］为指定写入模拟量模块的数字值。指令均为 16 位运算，占用 7 个程序步。



• FX_{0N}-3A型模拟量模块的模拟量输入值的读取指令

m1.　:特殊模块号
K0～K7

m2.　:模拟量输入通道号
K1或K2

D.　:读取数据
保存读取自模拟量模块的数值

图 6-102　模拟量模块读指令的使用

8. 触点比较指令（FNC224～FNC246）

FNC224～FNC246 是使用 LD、AND、OR 触点符号进行触点比较的指令，见表 6-21。

表 6-21　触点比较指令

FNC NO.	指令助记符	指　令　名　称
224	LD =	触点比较指令运算开始(S1) = (S2)时导通
225	LD >	触点比较指令运算开始(S1) > (S2)时导通
226	LD <	触点比较指令运算开始(S1) < (S2)时导通

（续）

FNC NO.	指令助记符	指 令 名 称
227	—	—
228	LD < >	触点比较指令运算开始(S1)≠(S2)时导通
229	LD≤	触点比较指令运算开始(S1)≤(S2)时导通
230	LD≥	触点比较指令运算开始(S1)≥(S2)时导通
231	—	—
232	AND =	触点比较指令串联连接(S1) = (S2)时导通
233	AND >	触点比较指令串联连接(S1) > (S2)时导通
234	AND <	触点比较指令串联连接(S1) < (S2)时导通
235	—	—
236	AND < >	触点比较指令串联连接(S1) = (S2)时导通
237	AND≤	触点比较指令串联连接(S1)≤(S2)时导通
238	AND≥	触点比较指令串联连接(S1)≥(S2)时导通
239	—	—
240	OR =	触点比较指令并联连接(S1) = (S2)时导通
241	OR >	触点比较指令并联连接(S1) > (S2)时导通
242	OR <	触点比较指令并联连接(S1) < (S2)时导通
243	—	—
244	OR < >	触点比较指令并联连接(S1)≠(S2)时导通
245	OR≤	触点比较指令并联连接(S1)≤(S2)时导通
246	OR≥	触点比较指令并联连接(S1)≥(S2)时导通

触点比较指令共有 18 条。

（1） LD 触点比较指令

该类指令见表 6-22。

表 6-22　LD 触点比较指令

FNC NO.	助 记 符	导 通 条 件	非导通条件
224	(D)LD =	[S1.] = [S2.]	[S1.]≠[S2.]
225	(D)LD >	[S1.] > [S2.]	[S1.]≤[S2.]
226	(D)LD <	[S1.] < [S2.]	[S1.]≥[S2.]
227	—	—	—
228	(D)LD < >	[S1.]≠[S2.]	[S1.] = [S2.]
229	(D)LD≤	[S1.]≤[S2.]	[S1.] > [S2.]
230	(D)LD≥	[S1.]≥[S2.]	[S1.] < [S2.]

图 6-103 所示为 LD = 指令的使用，当计数器 C10 的当前值为 200 时驱动 Y010。其他 LD 触点比较指令不在此一一说明。

（2） AND 触点比较指令

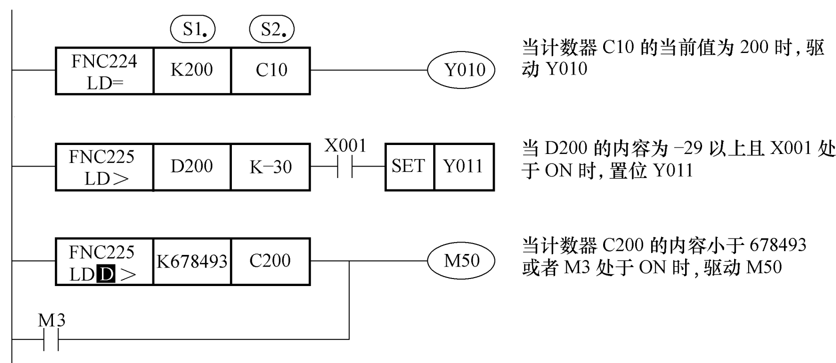


图 6-103　LD = 指令的使用

该类指令见表 6-23。

表 6-23　AND 触点比较指令

FNC NO.	助　记　符	导 通 条 件	非导通条件
232	(D)AND =	[S1.] = [S2.]	[S1.] ≠ [S2.]
233	(D)AND >	[S1] > [S2.]	[S1.] ≤ [S2.]
234	(D)AND <	[S1.] < [S2.]	[S1.] ≥ [S2.]
235	—	—	—
236	(D)AND < >	[S1.] ≠ [S2.]	[S1.] = [S2.]
237	(D)AND ≤	[S1.] ≤ [S2.]	[S1.] > [S2.]
238	(D)AND ≥	[S1.] ≥ [S2.]	[S1.] < [S2.]

图 6-104 所示为 AND = 指令的使用，当 X000 为 ON 且计数器 C10 的当前值为 200 时，驱动 Y010。

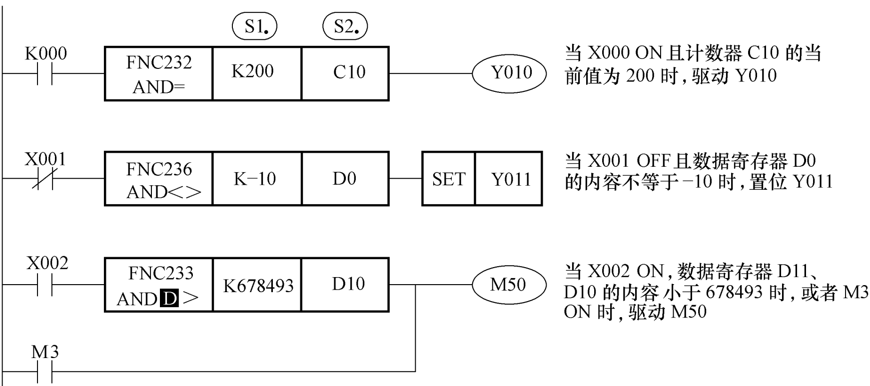


图 6-104　AND = 指令的使用

（3）OR 触点比较指令

该类指令见表 6-24。

OR = 指令的使用如图 6-105 所示，当 X001 处于 ON 或计数器的当前值为 200 时，驱动 Y000。

表 6-24　OR 触点比较指令

FNC NO.	助记符	导通条件	非导通条件
240	(D)OR =	[S1.]=[S2.]	[S1.]≠[S2.]
241	(D)OR >	[S1]>[S2.]	[S1.]≤[S2.]
242	(D)OR <	[S1.]<[S2.]	[S1.]≥[S2.]
243	—	—	—
244	(D)OR < >	[S1.]≠[S2.]	[S1.]=[S2.]
245	(D)OR≤	[S1.]≤[S2.]	[S1.]>[S2.]
246	(D)OR≥	[S1.]≥[S2.]	[S1.]<[S2.]

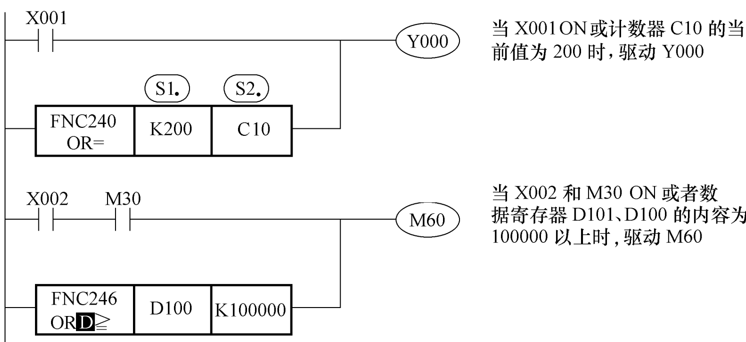


图 6-105　OR = 指令的使用

触点比较指令源操作数可取任意数据格式。16 位运算占用 5 个程序步，32 位运算占用 9 个程序步。

6.3　功能指令的应用举例

1. 应用传送指令（见图 6-106）

使分别接在 Y000、Y004、Y010 这 3 个输出端的灯亮和熄灭。

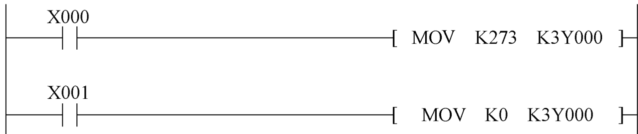


图 6-106　传送指令的应用

2. 电动机的Y/△起动控制程序（见图 6-107）

3. 多谐振荡电路（见图 6-108）

4. 定时报时器控制程序（见图 6-109）

应用计数器与比较指令构成 24h，可设定定时时间的控制器，每 15min 为一设定单位，共 96 个时间单位。

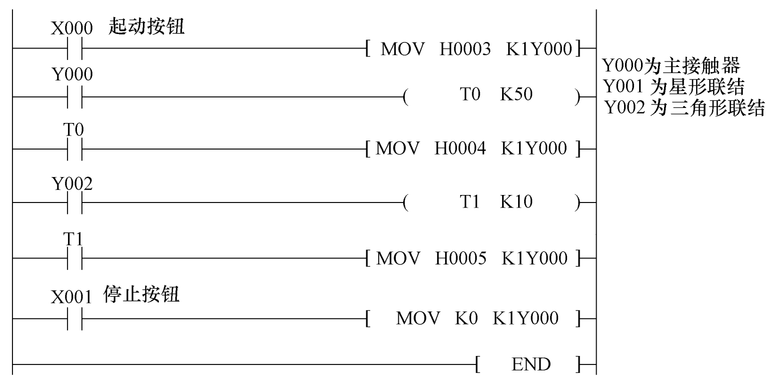


图 6-107　电动机的Y/△起动控制程序

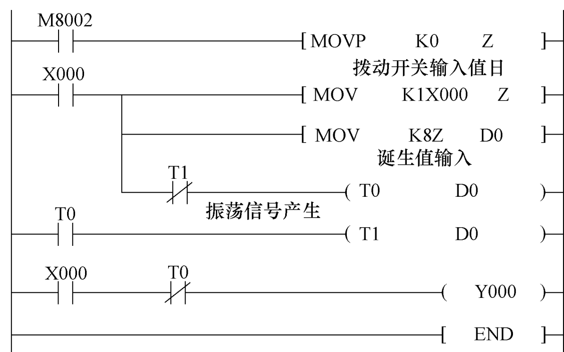


图 6-108　多谐振荡电路

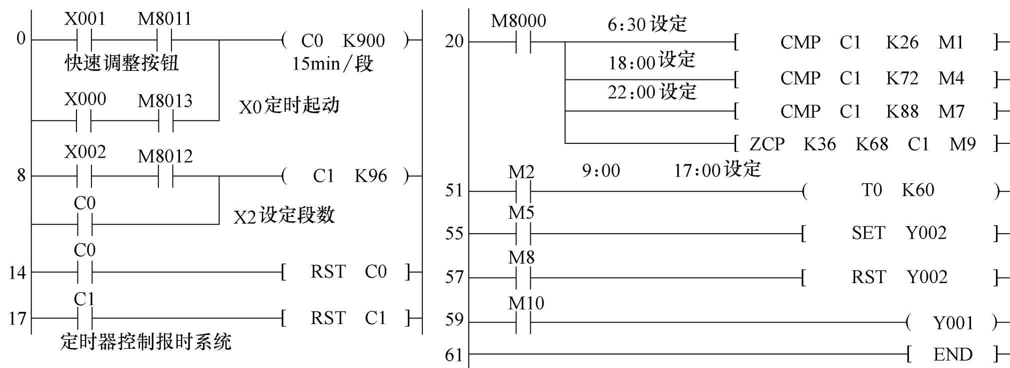


图 6-109　定时报时器控制程序

现控制实现如下：

1）6：30 电铃 Y0 每秒响一次，6 次后自动停止；

2）9：00～17：00，起动校园报警系统 Y001；

3）18：00 开校内照明 Y002；

4）22：00 关校园内照明 Y002。

5. CMP、 ZCP 指令应用（见图 6-110）

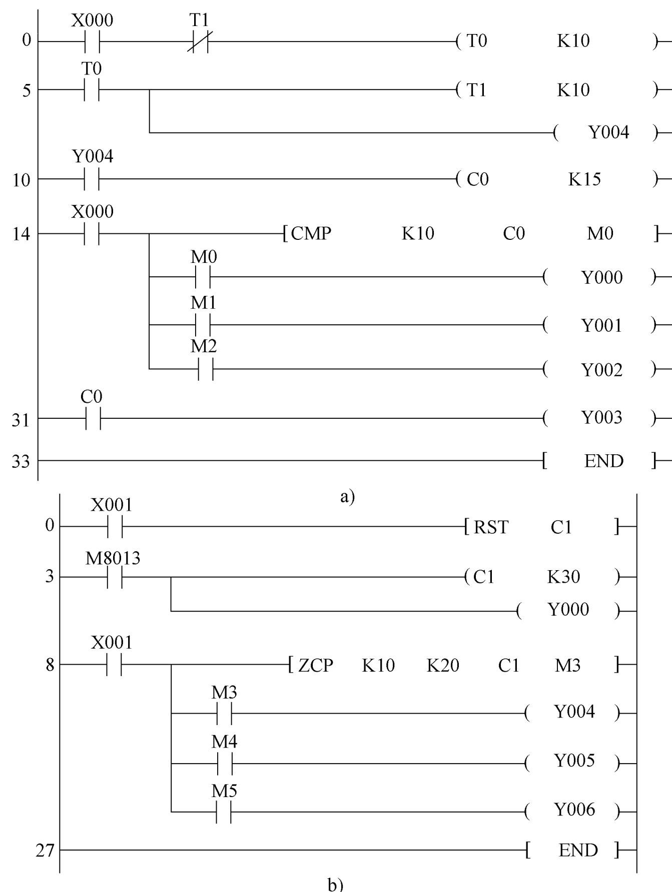


图 6-110　CMP、ZCP 指令应用程序

a）CMP 指令应用　b）ZCP 指令应用

6. 三相异步电动机控制程序（见图 6-111）

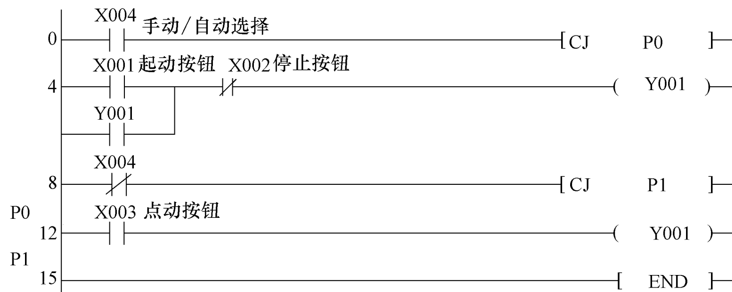


图 6-111　三相异步电动机控制程序

7. 用一个按钮任意改变定时器的定时值程序（见图 6-112）

按下 X000 不超过 1s，每按一次加 1，从而改变 D0 中的数据；或按下 X001 0.1s 以上，每隔 0.1s D0 中数据加 1，松开则不改变；按下 X002 按钮 3s 后，每隔 1s D0 数据减 1；从而可以方便地设定定时值。

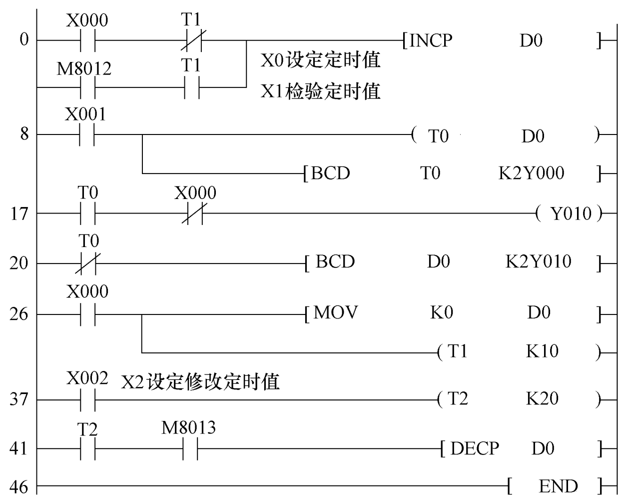


图 6-112　用一个按钮任意改变定时器的定时值程序

8. 0~9 数码显示程序（见图 6-113）

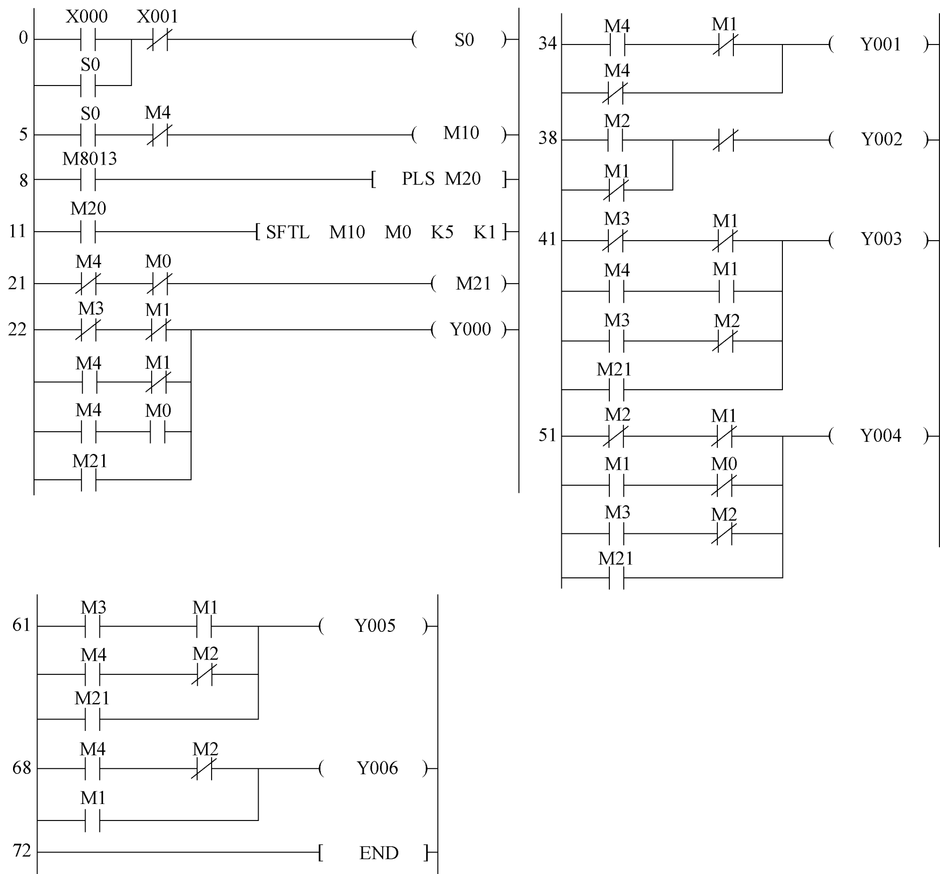


图 6-113　0 ~ 9 数码显示程序

第 7 章　PLC 控制系统设计

7.1　PLC 控制系统设计内容

在学习了 PLC 大量的相关知识后，要能够把其运用在实际当中。要设计经济、可靠、简洁的 PLC 控制系统，需要丰富的专业知识和实际的工作经验。

7.1.1　PLC 控制系统设计的基本内容

在做出系统控制方案的决策之前，要详细了解被控对象的控制要求，从而决定是否选用 PLC 进行控制。

进行 PLC 控制系统设计时，应遵循的基本原则如下：

1）最大限度地满足被控对象的控制要求。

2）保证控制系统的高可靠、安全性。

3）在满足上面条件的前提下，力求使控制系统简单、经济、实用和维修方便。

4）选择 PLC 时，要考虑生产和工艺改进所需的余量。

PLC 控制系统设计的基本内容如下：

1）拟定控制系统设计的技术条件。技术条件一般以设计任务书的形式来确定，它是整个设计的依据。

2）选择电气传动形式和电动机、电磁阀等执行机构。

3）选定 PLC 的型号。

4）编制 PLC 的 I/O 分配表或绘制 I/O 端子接线图。

5）根据系统设计的要求编写软件规格说明书，然后再用相应的编程语言（常用梯形图）进行程序设计。

6）了解并遵循用户认知心理学，重视人机界面的设计。

7）设计操作台、电气柜及非标准电器元器件。

8）编写设计说明书和使用说明书。

根据具体任务，上述内容可进行适当调整。

7.1.2　PLC 控制系统设计的一般步骤

进行 PLC 控制系统设计时，应遵循如下步骤：

1. 深入了解和分析被控对象的工艺条件和控制要求

1）被控对象就是受控的机械、电气设备、生产线或生产过程。

2）控制要求主要指控制的基本方式、应完成的动作、自动工作循环的组成、必要的保护和联锁等。对较复杂的控制系统，还可将控制任务分成几个独立部分，这样可化繁为简，

有利于编程和调试。

2. 确定 I/O 设备

根据被控对象对 PLC 控制系统的功能要求，确定系统所需的用户 I/O 设备。常用的输入设备有按钮、选择开关、行程开关、传感器等，常用的输出设备有继电器、接触器、指示灯、电磁阀等。

3. 选择合适的 PLC 类型

在 PLC 选型时主要是根据所需功能和容量进行选择，并考虑维护的方便性、备件的通用性、是否易于扩展、有无特殊功能要求等。根据已确定的用户 I/O 设备，统计所需的输入信号和输出信号的点数，选择合适的 PLC 类型，包括机型的选择、容量的选择、I/O 模块的选择、电源模块的选择等。

4. 分配 I/O 点

分配 PLC 的 I/O 点，编制出 I/O 分配表或者画出 I/O 端子的接线图。接着就可以进行 PLC 程序设计，同时可进行控制柜或操作台的设计和现场施工。一般输入点和输入信号、输出点和输出控制是一一对应的。I/O 点数选择时要留出适当余量。分配好后，按系统配置的通道与触点号分配给每一个输入信号和输出信号，即进行编号。在个别情况下，也有两个信号用一个输入点的，那样就应在接入输入点前，按逻辑关系接好线（如两个触点先串联或并联），然后再接到输入点。

5. 设计应用系统梯形图程序

在了解了程序结构和编程方法的基础上，就要实际地编写 PLC 程序了。根据工作功能图表或状态流程图等设计出梯形图即编程。这一步是整个应用系统设计的最核心工作，也是比较困难的一步，要设计好梯形图首先要十分熟悉控制要求，同时还要有一定的电气设计实践经验。编写 PLC 程序和编写其他计算机程序一样，都需要经历如下过程：

（1）对系统任务分块

分块的目的就是把一个复杂的工程，分解成多个比较简单的小任务，这样就可把一个复杂的大问题化为多个简单的小问题，便于编制程序。

（2）编制控制系统的逻辑关系图

从逻辑关系图上可以反映出某一逻辑关系的结果是什么，以及这一结果又导出哪些动作。这个逻辑关系可以以各个控制活动顺序为基准，也可以以整个活动的时间节拍为基准。逻辑关系图反映了控制过程中控制作用与被控对象的活动，也反应了输入与输出的关系。

6. 绘制各种电路图

绘制各种电路的目的是把系统的 I/O 设备所涉及的地址和名称联系起来，这是很关键的一步。在绘制 PLC 的输入电路时，不仅要考虑到信号的连接点是否与命名一致，还要考虑到输入端的电压和电流是否合适，也要考虑到在特殊条件下运行的可靠性和稳定条件等问题。特别要考虑到能否把高压引导到 PLC 的输入端，把高压引入 PLC 输入端会对 PLC 造成比较大的伤害。在绘制 PLC 的输出电路时，不仅要考虑到输出信号的连接点是否与命名一致，还要考虑到 PLC 输出模块的带负载能力和耐电压能力，此外还要考虑到电源的输出功

率和极性问题。在整个电路的绘制中，还要考虑设计的原则，努力提高其稳定性和可靠性。虽然用 PLC 进行控制方便、灵活，但是在电路的设计上仍然需要谨慎、全面。因此，在绘制电路图时要考虑周全，何处装按钮、何处装开关，都要一丝不苟。

7. 将程序输入 PLC

当使用简易编程器将程序输入 PLC 时，需要先将梯形图转换成指令助记符，以便输入。当使用 PLC 的辅助编程软件在计算机上编程时，可通过上下位机的连接电缆将程序下载到 PLC 中去。

8. 进行软件测试

程序输入 PLC 后，应先进行测试工作。因为在程序设计过程中，难免会有疏漏的地方。因此在将 PLC 连接到现场设备上去之前，必需进行软件测试，以排除程序中的错误。同时也为整体调试打好基础，缩短整体调试的周期。

9. 制作控制台与控制柜

在绘制好电气图、编完程序之后，就可以制作控制台和控制柜了。在时间紧张的时候，这项工作也可以和编制程序工作并列进行。在制作控制台和控制柜的时候要注意选择开关、按钮、继电器等器件的质量，规格必须满足要求，设备的安装必须注意安全、可靠。比如说屏蔽问题、接地问题、高压隔离等问题必须妥善处理。

10. 应用系统整体调试

在 PLC 软、硬件设计和控制柜及现场施工完成后，就可以进行整个系统的联机调试，如果控制系统是由几个部分组成，则应先作局部调试，然后再进行整体调试；如果控制程序的步序较多，则可先进行分段调试，然后再连接起来总调。调试中发现的问题要逐一排除，直至调试成功。

11. 编制技术文件

经过现场调试以后，控制电路和控制程序基本被确定了，整个系统的硬件和软件基本没有问题了，这时就要全面整理技术文件。系统技术文件包括说明书、电气原理图、电器布置图、电气元器件明细表、PLC 梯形图。

总而言之，PLC 控制系统设计步骤如图 7-1 所示。

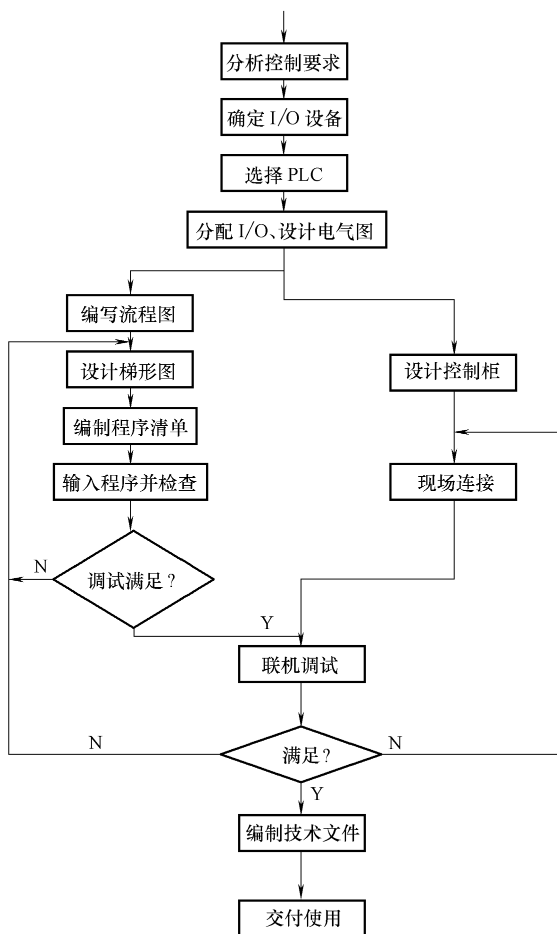


图 7-1　PLC 控制系统设计步骤框图

7.2　PLC 的选型和系统设计的要点

7.2.1　PLC 的选型

目前市场上的 PLC 产品众多，国内外众多的生产厂家提供了多种系列功能各异的 PLC 产品，使用户眼花缭乱、无所适从。除国产品牌外，国外品牌有：日本的 OMRON、MITSUBISHI、FUJI、ANASONIC，德国的 SIEMENS，韩国的 LG 等。近几年，PLC 产品的价格有较大的下降，其性价比越来越高，这是众多技术人员选用 PLC 的重要原因之一。那么，如何选购 PLC 产品呢？一般选择机型要以满足系统功能需要为宗旨，不要盲目贪大求全，以免造成投资和设备资源的浪费。所以全面权衡利弊、合理地选择机型才能达到经济实用的目的。应尽量选用大公司的产品，其质量有保障，且技术支持好，一般售后服务也较好，还有利于产品的扩展与软件升级。机型的选择具体可从以下 13 个方面来考虑：

1. 选择自己熟悉的机种和机型

对于初次使用 PLC 的一些用户可能会问，应选用哪一种型号的 PLC。同样的控制设备的设计，可以用任何同样级别的 PLC 来完成。如果选用不熟悉的 PLC，就必须从头熟悉它，虽然不费太多的事，但毕竟没有使用熟悉的机型方便。一般地说，对哪一家公司哪个型号的 PLC 了解得多，特别是对它的指令和编程软件熟悉，就选用该公司的 PLC。因为从可靠性、性能指标上看，各家公司的产品大同小异。若已有设备（或产品）上已经用了某一种型号的 PLC，再要选用 PLC 开发新的产品，在满足工艺条件的前提下，建议还是选用已经用过的 PLC 为好，这样可以做到资源共享。

2. 不要大材小用

什么样的规模设计任务就选用什么样规模的 PLC，避免造成太多的硬件资源浪费。首先应确定系统用 PLC 单机控制，还是用 PLC 形成网络，由此计算 PLC I/O 点数，并且在选购 PLC 时要在实际需要点数的基础上留有一定余量。

3. 具体的控制对象具体选择

根据不同的设计任务，来选择 PLC 的机型。

4. 选用易采购的机型

有的产品经销商较少，不容易采购或进行比较；有的产品经销商很多，容易采购和比较，可以选用信誉好、价格优惠、技术上能够给与支持的产品。

5. 经常了解 PLC 产品的发展动态

PLC 产品更新换代很快，熟悉的机型也许过几年就见不着了，所以最好在设计选型之前先了解市场情况。

6. 对 I/O 点的选择

要先弄清楚控制系统的 I/O 点总点数，再按实际所需总点数的 15% ~20% 留出备用量（为系统的改造等留有余地）后确定所需 PLC 的点数。

7. 对存储容量的选择

尽管国外各厂家的 PLC 产品大体相同，但也有一定的区别，目前还未发现各公司之间完全兼容的产品。各个公司的开发软件都不相同，用户程序的存储容量和指令的执行速度是

两个重要指标。一般存储容量越大、速度越快的 PLC 价格就越高，但应该根据系统的大小合理选用 PLC 产品。对用户存储容量只能做粗略的估算。在仅对开关量进行控制的系统中，可以用输入总点数乘 10 字/点 + 输出总点数 ×5 字/点来估算；计数器/定时器按（3 ~5）字/个估算；有运算处理时按（5 ~10）字/个估算；在有模拟量 I/O 出的系统中，可以按每输入（或输出）一路模拟量约需（80 ~100）字左右的存储容量来估算；有通信处理时按每个接口 200 字以上的数量粗略估算。最后，一般按估算容量的 50% ~100% 留有裕量。对缺乏经验的设计者，选择容量时留有裕量要大些。

8. 对 I/O 响应时间的选择

PLC 的 I/O 响应时间包括输入电路延迟、输出电路延迟和扫描工作方式引起的时间延迟（一般在 2 ~3 个扫描周期）等。对开关量控制的系统，PLC 和 I/O 响应时间一般都能满足实际工程的要求，可不必考虑 I/O 响应问题。但对模拟量控制的系统，特别是闭环系统就要考虑这个问题。

9. 根据输出负载的特点选型

不同的负载对 PLC 的输出方式有相应的要求。根据 PLC 输出端所带的负载是直流型还是交流型、是大电流还是小电流以及 PLC 输出点动作的频率等，从而确定输出端采用继电器输出还是晶体管输出，或是晶闸管输出。例如，频繁通断的感性负载，应选择晶体管或晶闸管输出型的，而不应选用继电器输出型的。不同的负载选用不同的输出方式，对系统的稳定运行是很重要的。

10. 对 PLC 结构形式的选择

在相同功能和相同 I/O 点数的情况下，整体式比模块式价格低。但模块式具有功能扩展灵活、维修方便（换模块）、容易判断故障等优点，要按实际需要选择 PLC 的结构形式。

11. 选择合资厂的机型、选用进口 PLC 好还是国产 PLC 好

国内的一些 PLC 生产厂，特别是一些合资的 PLC 生产厂，其 PLC 的性能与进口 PLC 是一样的，而且国内 PLC 厂商的售后服务好、备品备件也容易。国产 PLC 的价格也比进口的 PLC 便宜 1/3 左右。当然进口的 PLC，特别是一些国际上知名的大公司生产的 PLC，尤其是大型或超大型 PLC，在重大工程上还是首选对象。

12. 选择性能相当的机型

PLC 选型中还有一个重要问题就是性能要相当。如果只有十几个开关量输入输出的工程项目，选用了带有模拟量输入输出的 PLC 机型，这就大材小用了，这时只要选性能相当的 PLC 即可，其价格也可以大大地降低。

13. 选择新机型

由于 PLC 产品更新换代很快，所以选用相应的新机型很有必要。

7.2.2 PLC 系统设计的要点

确定好 PLC 的机型后，进而 PLC 系统设计时应遵循以下要点：

1. 输入回路的设计

1）电源回路：PLC 供电电源一般为 AC 85 ~240V（也有 DC 24V），适应电源范围较宽，但为了抗干扰，应加装电源净化器件（如电源滤波器、1∶1 隔离变压器等）。

2）PLC 上 DC 24V 电源的使用：各公司 PLC 产品上一般都有 DC 24V 电源，但该电源容

量小，为几十毫安至几百毫安，用其带负载时要注意容量，同时做好防短路措施（因为该电源的过载或短路都将影响 PLC 的运行）。

3）外部 DC 24V 电源：若输入回路有 DC 24V 供电的接近开关、光电开关等，而 PLC 上 DC 24V 电源容量不够时，要从外部提供 DC 24V 电源；但该电源的“-”端不要与 PLC 的 DC 24V 的“-”端以及“COM”端相连，否则会影响 PLC 的运行。

4）输入的灵敏度：各厂家对 PLC 的输入端电压和电流都有规定，如日本三菱公司 FX 系列 PLC 的输入值为 DC 24V、7mA，启动电流为 4.5mA，关断电流小于 1.5mA，因此，当输入回路串有二极管或电阻（不能完全启动）时，或者有并联电阻或有漏电流时（不能完全切断），就会有误动作，造成灵敏度下降，对此应采取措施。另一方面，当输入器件的输入电流大于 PLC 的最大输入电流时，也会引起误动作，应采用弱电流的输入器件，并且选用输入为共漏型输入的 PLC，输入元件的公共点电位相对为负，电流是流出 PLC 的输入端。

2. 输出回路的设计

（1）各种输出方式之间的比较

1）继电器输出。继电器输出的 PLC 利用了继电器的触点和线圈，将 PLC 的内部电路与外部负载电路进行电气隔离。继电器输出接口可驱动交流或直流负载，但其响应时间长，动作频率低，但负载能力最强；继电器输出端口一般连接接触器，中间继电器，电磁阀等执行机构。一般视负载的容量不同选择不同的模块和接线方式等。当连接感性负载时，为了延长继电器触点的使用寿命，对于外接直流电源时的情况，通常应在负载两端加过电压抑制二极管。对于交流负载，应在负载两端加 RC 抑制器。PLC 继电器输出电路形式允许负载一般是 AC 250V/50V 以下，对于电阻负载而言，继电器输出的 PLC 每点电流为 2A，容量可达 80 ~ 100VA（电压 × 电流），个别型号的 PLC 每点负载电流高达 8 ~ 10A。因此，PLC 的输出一般不宜直接驱动大电流负载（一般通过一个小负载来驱动大负载，如 PLC 的输出可以接一个电流比较小的中间继电器，再由中间继电器触点驱动大负载，如接触器线圈等）。

PLC 继电器输出电路的形式继电器触点的使用寿命也有限制（一般数十万次左右，根据负载而定，如连接感性负载时的寿命要小于阻性负载，其寿命随带负载电流的增加而减少）。此外，继电器输出的响应时间也比较慢（10ms 左右）。继电器输出方式不适用于高频动作的负载，继电器的动作频率一般不能超过 20 次/秒，因此在要求快速响应的场合，不适合使用此种类型的电路输出形式。

2）晶闸管输出。晶闸管输出电路只能驱动交流负载，可适应高频动作，响应时间为 1ms。响应速度也比继电器输出电路形式要快，寿命要长。双向晶闸管输出的驱动能力要比继电器输出的要小，允许负载电压一般为 AC 85 ~ 242V；单点输出电流为 0.2 ~ 0.5A，当多点共用公共端时，每点的输出电流应减小（如单点驱动能力为 0.3A 的双向晶闸管输出，在 4 点共用公共端时，最大允许输出为 0.8A/4 点）。为了保护晶闸管，通常在 PLC 内部电路晶闸管的两端并接 RC 阻容吸收元件（一般为 0.015μF/22Ω 左右）和压敏电阻，因此在晶闸管关断时，PLC 的输出仍然有 1 ~ 2mA 的开路漏电流，这就可能导致一些小型继电器在 PLC 输出 OFF 时无法关断的情况。晶闸管型输出现在应用上越来越少，许多厂家已经不生产此类输出模块。

3）晶体管输出。晶体管输出外电源只能加特定方向的直流电源，这是它的局限性；但是此种输出类型开关特性比较好，支持高速开关量，而且无机械触电，使用寿命长。和继电

器输出形式电路一样，在驱动感性负载时也要在负载两端反向并联二极管（二极管的阴极接电源的正极）防止过电压，保护 PLC 的输出电路。用于直流负载，频率最高；晶体管动作频率一般可达数 10K 次/秒，只能接直流负载，容量较小，每点不超过 0.3A，最大输出负载电流为 0.5A/点，但每 4 点不得大于 0.8A。晶体管输出电路形式相比于继电器输出响应快（一般在 0.2ms 以下），适用于要求快速响应的场合。由于晶体管无机械触点，因此比继电器输出电路形式的寿命长。

晶体管输出型电路的外接电源只能是直接电源，这是其应用局限的一方面。另外，晶体管输出驱动能力要小于继电器输出，允许负载电压一般为 DC 5 ~ 30V，允许负载电流为 0.2 ~ 0.5A。这两点在使用晶体管输出电路形式时要注意。晶体管输出电路的形式主要有两种：NPN 型和 PNP 型集电极开路输出。NPN 型集电极开路输出形式的公共端 COM 只能接外接电源的负极，而 PNP 型的 COM 端只能接外接电源的正极。和继电器输出形式电路一样，在驱动感性负载时也要在负载两端反向并联二极管（二极管的阴极接电源的正极）防止过电压，保护 PLC 的输出电路。晶体管输出型 PLC 通过光耦合器使晶体管截止或导通以控制外部负载电路，同时 PLC 内部电路和晶体管输出电路进行电气隔离。

表 7-1 是三种输出形式的比较表，不同型号的 PLC 技术参数不尽相同。

表 7-1　三种输出形式的比较

项　目		继电器型	晶体管型	可控硅型
外部电源		250V AC,30V DC 以下	5 ~ 24V DC	85 ~ 242V AC
电路绝缘		继电器机械绝缘	光耦绝缘	光耦绝缘(触发绝缘)
动作指示		继电器输出触点闭合指示灯亮	晶体管被驱动指示灯亮	晶闸管被驱动指示灯亮
开路时漏电流		—	小于 1mA/30V DC	1mA/AC 100V 2mA/200V
最小负载		2mA/5V DC	5mA/5 ~ 24V DC	5mA/85 ~ 242VAC
最大输出电流（基于 FX_{2N}）	阻性	2A/1 点、8A/4 点、8A/8 点	0.5A/1 点、0.8A/4 点、 1.6A/8 点(Y0、Y1　0.3A/1 点)	0.3A/1 点 0.8A/4 点
	感性	80VA	12W/DC 24V(Y0、Y1 7.2W/DC 24V)	15VA/AC 100V 30VA/AC 200V
	灯	100W	1.5W/DC 24V(Y0、Y1 0.9W/DC 24V)	30W
响应时间		最低	可在 0.2ms 以下	较低

当系统输出频率为 6 次/min 以下时，应首选继电器输出，因其电路设计简单，抗干扰和带负载能力强；当频率为 10 次/min 以下时，既可采用继电器输出方式，也可采用晶体管输出方式。

（2）抗干扰与外部互锁

当 PLC 输出带感性负载时，负载断电时会对 PLC 的输出造成浪涌电流的冲击，为此对直流感性负载应在其旁边并接续流二极管，对交流感性负载应并接浪涌吸收电路，可有效保护 PLC。当两个物理量的输出在 PLC 内部已进行软件互锁后，在 PLC 的外部也应进行互锁，以加强系统的可靠性。

（3）“COM”点的选择

不同的 PLC 产品，其“COM”点的数量是不一样的，有的一个“COM”点带 8 个输出点，有的带 4 个输出点，也有带 2 个或 1 个输出点的。当负载的种类多且电流大时，采用一个“COM”点带 1 个或 2 个输出点的 PLC 产品；当负载数量多而种类少时，采用一个“COM”点带 4 个或 8 个输出点的 PLC 产品。这样会对电路设计带来很多方便，每个“COM”点处加一熔丝，1 个或 2 个输出时加 2A 的熔丝，4 个或 8 点输出的加 5～10A 的熔丝，因 PLC 内部一般没有熔丝。

（4）PLC 外部驱动电路

对于 PLC 输出不能直接带动负载的情况下，必须在外部采用驱动电路：可以用三极管驱动，也可以用固态继电器或晶闸管电路驱动，同时应采用保护电路和浪涌吸收电路，且每路由发光二极管（LED）指示。印制电路板应做成插拔式，以易于维修。

3. 扩展模块的选用

可通过增加扩展模块、扩展单元方式与主单元连接。扩展模块有输入单元、输出单元、输入/输出一体单元。扩展部分超出主单元驱动能力时应选用带电源的扩展模块或另外加电源模块给以支持；对于小的系统，如 80 点以内的系统，一般不需要扩展；当系统较大时，就要扩展。不同公司的产品，对系统总点数及扩展模块的数量都有限制。当扩展仍不能满足要求时，可采用网络结构；同时，有些厂家产品的个别指令不支持扩展模块，因此在进行软件编制时要注意。当采用温度等模拟模块时，各厂家也有一些规定，请查看相关的技术手册。

各公司的扩展模块种类很多，如单输入模块、单输出模块、I/O 模块、温度模块、高速输入模块等。PLC 的这种模块化设计为用户的产品开发提供了方便。

4. PLC 的网络设计

PLC 的连网方式分为 PLC 与计算机连网和 PLC 之间相互连网两种。与计算机连网可通过 RS232C 接口直接连接、RS422 + RS232C/422 转换适配器连接、调制解调通信连接等方式；一台计算机与多台 PLC 连网可通过采用通信处理器、网络适配器等方式进行连接，连接介质为双绞线或光缆；PLC 之间互连时可通过专用通信电缆直接连接、通信板卡或模块 + 数据线连接等方式。当用 PLC 进行网络设计时，其难度比 PLC 单机控制大得多。首先应选用自己较熟悉的机型，对其基本指令和功能指令有较深入的了解，并且指令的执行速度和用户程序存储容量也应仔细了解，否则不能适应实时要求，容易造成系统崩溃。另外，对通信接口、通信协议、数据传输速度等也要考虑。

最后，还要向 PLC 的商家寻求网络设计和软件技术支持及详细的技术资料，至于选用几层工作站，依照系统大小而定。

5. 软件编制

在编制软件前，应首先熟悉所选用 PLC 产品的软件说明书，待熟练后再编程。若用图形编程器或软件包编程，则可直接编程；若用手持编程器编程，应先画出梯形图，然后编程，这样可少出错，速度也快。编程结束后先空载调试程序，待各个动作正常后，再在设备上调试。

6. 用户程序的保护与备份

调试好的 PLC 用户程序经常是放在用锂电池作后备电源的 RAM 中。一般情况下，这种方式是保险的，但在强干扰的环境下，RAM 中的用户程序也有可能被改写或冲掉。目前常用的做法是，调试好的程序用 PLC　ROM 写入器将用户程序写到 EPROM 中长期保存。在系

统运行时，应对 EPROM 加上写保护，以防止被改写。

7. PLC 输出点的选择

在进行 PLC 常规设计中，经常是采用输出点为继电器输出，这样可以做到执行机构不同触点信号的需要，比如有的需要交流电压 220V、有的需要直流电压、有的需要一个无源触点等。在 PLC 输出触点的保护，一般采用阻容保护，有的都不需要保护。在市场一般出售的 PLC 中，继电器输出的占了很大一部分，这都是用于满足技术人员这种需要的。

（1）触点的保护

有的 PLC 的输出点是直接控制现场的执行机构，比如电磁阀等，而在环境恶劣的工业现场，不能不考虑因线路的老化、导线短路等造成触点损坏的现象。一旦损坏，就要换 PLC 输出继电器或者改变触点而对 PLC 的程序进行修改，这对维护人员来说都是很麻烦的。

（2）触点的浪费

继电器输出的 PLC 的输出都是成组的，几个输出点的一个单端是公用的，这样这组输出的形式必须相同，否则就要用外接继电器转换。而且有时会出现这样的现象，同一动作的两个点由于接在不同的电路上，要不占用不同组的两个点，要不就占用一个点再用继电器转换，感觉很别扭。

（3）价格的问题

在 PLC 的规格中，继电器输出的 PLC 价格相对晶体管输出的要贵出 20% 左右。

建议采用晶体管输出的 PLC，输出点全部外接中间继电器，这样就能够避免以上的问题，维护简单便利，不再考虑修改程序。同时在工程设计中，能够减少对因输出点形式不同发生冲突的考虑，而且能够比较便利合理地分配输出点，从而做到从容设计。晶体管输出的 PLC 的价格比较便宜，即使外接中间继电器也比直接继电器输出的 PLC 价格低。

8. 其他设计要点

1）多重指令控制一个任务时，可先在 PLC 外部将它们并联后再接入一个输入点。

2）尽量利用 PLC 内部功能软元件，充分调用中间状态，使程序具有完整连贯性，以易于开发，同时也减少了硬件投入，降低了成本。

3）条件允许的情况下最好独立每一路输出，以便于控制和检查，也保护了其他输出回路；当一个输出点出现故障时，只会导致相应输出回路失控。

4）输出若为正/反向控制的负载，则不仅要从 PLC 内部程序上联锁，并且要在 PLC 外部采取措施，防止负载在两方向动作。

5）PLC 紧急停止应使用外部开关切断，以确保安全。

6）不要将交流电源线接到输入端子上，以免烧坏 PLC。

7）接地端子应独立接地，不与其他设备接地端串联，接地线截面积不小于 $2mm^2$。

8）辅助电源功率较小，只能带动小功率的设备（光电传感器等）。

9）一般 PLC 均有一定数量的占有点数（即空地址接线端子），不要将线接上。

10）输出有继电器型、晶体管型（高速输出时宜选用），输出可直接带轻负载（LED 指示灯等）。

11）PLC 输出电路中没有保护，因此应在外部电路中串联使用熔断器等保护装置，防止负载短路造成 PLC 损坏。

12）输入、输出信号线尽量分开走线，不要与动力线在同一管路内或捆扎在一起，以免出

现干扰信号、产生误动作；信号传输线采用屏蔽线，并且将屏蔽线接地；为保证信号可靠，输入、输出线一般控制在 20m 以内；扩展电缆易受噪声电干扰，应远离动力线、高压设备等。

13）输入断开的时间要大于 PLC 扫描的时间。

14）PLC 存在 I/O 响应延迟问题，尤其在快速响应设备中应加以注意。

15）PLC 虽然适合工业现场，但使用中也应注意尽量避免直接振动和冲击、阳光直射、油雾、雨淋等；不要在有腐蚀性气体环境、灰尘过多环境、发热体附近应用；避免导电性杂物进入控制器。

7.3 PLC 系统程序的设计方法

PLC 是将继电器控制的概念和设计思想与计算机技术及微电子技术相结合而形成的专门从事逻辑控制的微型计算机系统。在 PLC 系统应用中，梯形图的设计往往是最主要的问题。梯形图不但沿用和发展了电气控制技术，而且其功能和控制指令已远远超过电气控制范畴。它不仅可实现逻辑运算，还具有算术运算、数据处理、连网通信等功能，是具有工业控制指令的微型计算机系统。由于梯形图的设计是计算机程序设计与电气控制设计思想结合的产物，因此在设计方法上与计算机程序设计和电气控制设计既有着相同点也有着不同点。本节将对 PLC 控制系统梯形图的设计提出 4 种常用方法。

7.3.1 替代设计法

所谓替代设计法，就是用 PLC 的程序替代原有的继电器逻辑控制电路。它的基本思想是，将原有电气控制系统输入信号及输出信号作为 PLC 的 I/O 点，原来由继电器-接触器硬件完成的逻辑控制功能由 PLC 的软件-梯形图及程序替代完成。

例如，电动机正反转控制电路，原电气控制电路图如图 7-2 所示。由 PLC 控制替代后，其 I/O 接线图和梯形图分别如图 7-3、图 7-4 所示。

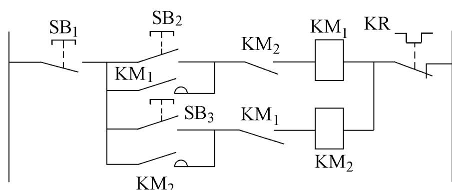


图 7-2 继电器控制电路图

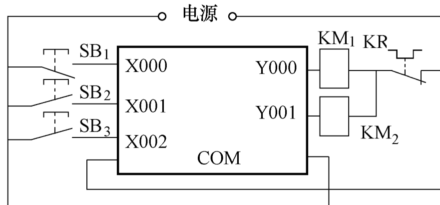


图 7-3 PLC I/O 接线图

这种方法的优点是程序设计方法简单，有现成的电气控制电路作依据，设计周期短。一般在旧设备电气控制系统改造中，对于不太复杂的控制系统常采用此方法。

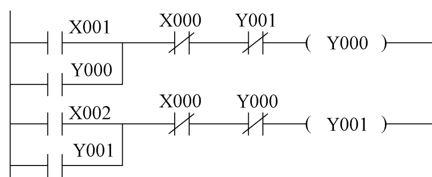


图 7-4 PLC 梯形图

7.3.2 逻辑代数设计法

由于电气控制电路与逻辑代数有一一对应

的关系，因此对开关量的控制过程可用逻辑代数式表示、分析和设计。

基本设计步骤如下：

1）根据控制要求列出逻辑代数表达式；

2）对逻辑代数式进行化简；

3）根据化简后的逻辑代数表达式画梯形图。

下面举一个简单例子来具体说明。

【例 7-1】 某一电动机只有在三个按钮中任何一个或任何两个动作时才能运转，而在其他任何情况下都不运转，试设计其梯形图。

解：将电动机运行情况由 PLC 输出点 0500 来控制，3 个按钮分别对应 PLC 输入地址为 A、B、C。根据题意，3 个按钮中任何一个动作，PLC 的输出点 0500 就有输出。其逻辑代数表达式为

$$0500' = A\overline{B}\,\overline{C} + \overline{A}B\overline{C} + \overline{A}\,\overline{B}C$$

当 3 个按钮中有任何两个动作时，输出点 0500 的逻辑代数表达式为

$$0500'' = AB\overline{C} + A\overline{B}C + \overline{A}BC$$

因两个条件是逻辑或关系，所以电动机运行条件应该为

$$0500 = 0500' + 0500'' = A\overline{B}\,\overline{C} + \overline{A}B\overline{C} + \overline{A}\,\overline{B}C + AB\overline{C} + A\overline{B}C + \overline{A}BC$$

简化该式得 $0500 = A(\overline{B} + \overline{C}) + \overline{A}(B + C)$

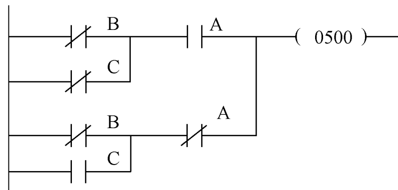


图 7-5 梯形图

根据逻辑代数表达式画出梯形图，如图 7-5 所示。

利用这种方法设计，最大的特点是可以把很多的逻辑关系最简化。当然出于可靠和安全性角度考虑的冗余设计是另外一个问题。

7.3.3 程序流程图设计法

PLC 采用计算机控制技术，其程序设计同样可遵循软件工程设计方法，程序工作过程可用流程图表示。由于 PLC 的程序执行为循环扫描工作方式，因而与计算机程序框图的不同点是，PLC 程序框图在进行输出刷新后，再重新开始输入扫描，循环执行。

下面以全自动洗衣机控制为例，说明这种设计方法的应用。

【例 7-2】 全自动洗衣机控制实例。

解：首先画出洗衣机工艺流程图，如图 7-6 所示。

其次选择 PLC 机型，设置 I/O 点编号。其 I/O 点编号分配如下：

I/O 点分配	计时/计数器分配
X000 起动开关	T0 正转计时
X001 停止开关	T1 暂停计时
X002 手动排水开关	T2 反转计时
X003 高水位开关	T3 暂停计时
X004 低水位开关	T4 脱水计时
Y000 起动洗衣机	T5 报警计时

Y001 进水　　　　　C6 洗涤次数
Y002 正转洗涤　　　C7 脱水次数
Y003 反转洗涤
Y005 排水
Y006 脱水
Y007 停止、报警

最后根据流程图设计梯形图，如图 7-7 所示。

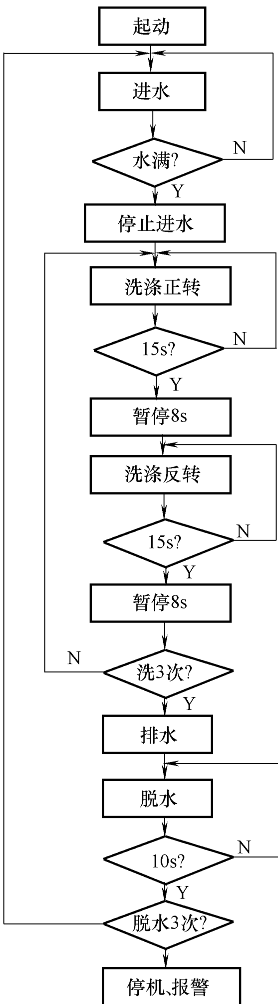


图 7-6　洗衣机工艺流程图

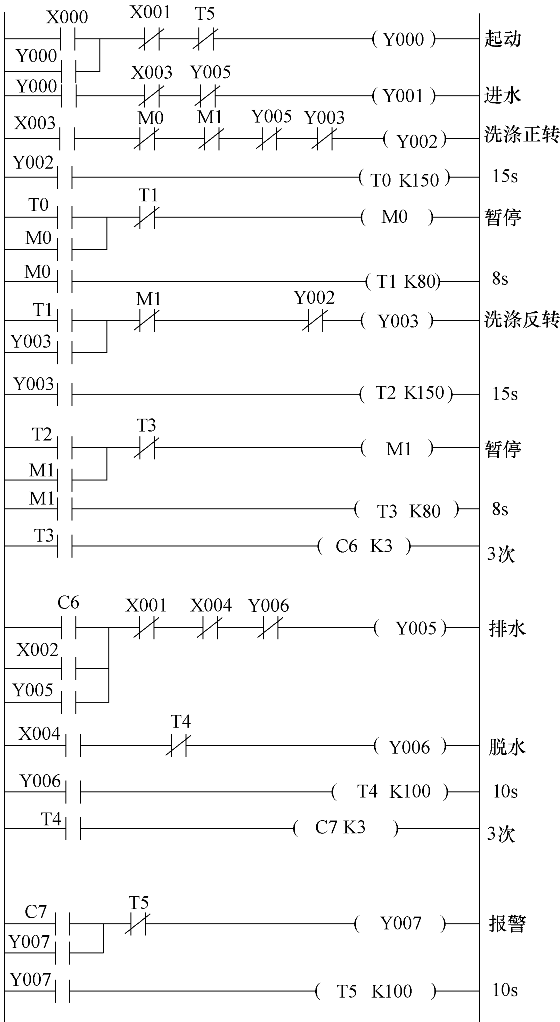


图 7-7　洗衣机控制梯形图

7.3.4　功能模块设计法

根据模块化设计思想，可对系统按控制功能进行模块划分，依次对各控制的功能模块设计梯形图。

例如，在 PLC 电梯控制系统中，对电梯控制按功能可分为厅门开关控制模块、选层控

制模块、电梯运行控制模块和呼梯显示控制模块等。按电梯功能进行梯形图设计，可使电梯相同功能的程序集中在一起，程序结构清晰、便于调试，还可以根据需要灵活地增加其他控制功能。

当然，在设计中要注意模块之间的互相影响、时序关系以及联锁指令的使用条件。同一种控制功能可有不同的软件实现方法，应根据具体情况采用简单实用的方案，并应充分利用不同机型所提供的编程指令使程序尽量简洁。

除了 PLC 梯形图的四种设计方法之外，还有其他一些方法，如经验法。在系统设计中对不同的环节，可根据具体情况采用不同的设计方法。通常在全局上采用程序框图及功能模块方法设计；在旧设备改造中，采用替代法设计；在局部或具体功能的程序设计上，采用逻辑代数法和经验法设计。

7.4　PLC 的安装

7.4.1　PLC 的安装环境

PLC 适用于大多数工业现场，但它对使用场合、环境温度等还是有一定要求。控制 PLC 的工作环境，可以有效地提高它的工作效率和寿命。在安装 PLC 时，要避开下列场所：

1）环境温度超过 0～50℃的范围；

2）相对湿度超过 85% 或者存在凝露现象（由温度突变或其他因素所引起）；

3）太阳光直接照射；

4）有腐蚀和易燃的气体，例如氯化氢、硫化氢等；

5）有大量铁屑及灰尘；

6）频繁或连续的振动，振动频率为 10～55Hz、幅度为 0.5mm（峰-峰）；

7）超过 10*g*（重力加速度）的冲击。

小型 PLC 外壳的 4 个角上均有安装孔，其有两种安装方法：一种是用螺钉固定，不同的单元有不同的安装尺寸；另一种是 DIN（德国标准化学会）轨道固定。DIN 轨道配套使用的安装夹板，左右各一对。在轨道上，先装好左右夹板，装上 PLC，然后拧紧螺钉。为了使控制系统工作可靠，通常把 PLC 安装在有保护外壳的控制柜中，以防止灰尘、油污、水溅。为了保证 PLC 在工作状态下其温度保持在规定环境温度范围内，控制柜各单元间应有足够的通风空间，基本单元和扩展单元之间要有 30mm 以上的间隔。如果周围环境温度超过 55℃，要安装电风扇，强迫通风。

为了避免其他外部设备的电干扰，PLC 应尽可能远离高压电源线和高压设备，PLC 与高压设备和电源线之间应留出至少 200mm 的距离。

当 PLC 垂直安装时，要严防导线头、铁屑等从通风窗掉入 PLC 内部，造成印制电路板短路，使其不能正常工作甚至永久损坏。

图 7-8 为 FX_{2N}-64MR 型 PLC 安装结构示意图。

除满足以上环境条件外，安装时还应注意以下三点：

1）PLC 的所有单元必须在断电时安装和拆卸。

2）为防止静电对 PLC 组件的影响，在接触 PLC 前，先用手接触某一接地的金属物体，

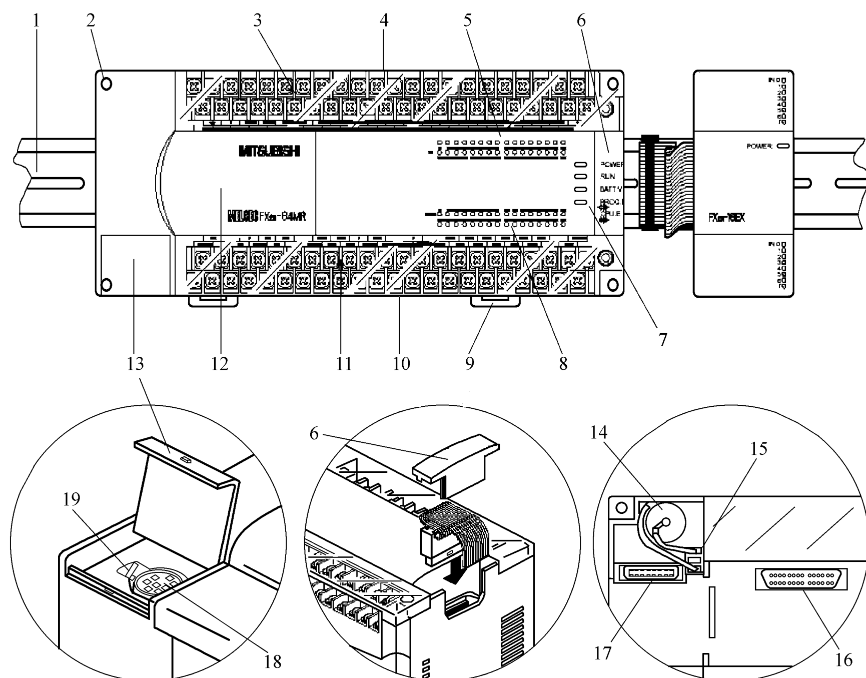


图 7-8　FX_{2N}-64MR 型 PLC 安装结构示意图

1—35mm 宽 DIN 导轨　2—安装孔 4 个（ϕ4.5）　3—输入端子　4—输入端子盖板　5—输入指示灯　6—I/O 扩展单元接口盖板　7—状态指示灯　8—输出指示灯　9—DIN 导轨装卸用卡子　10—输出端子盖板　11—输出端子　12—面板盖　13—编程器接口　14—后备电池　15—后备电池连接插座　16—另选存储器滤波器接口　17—功能扩展板接口　18—编程器接口　19—内置运行/停止开关

以释放人体所带静电。

3）注意 PLC 机体周围的通风和散热条件，切勿将导线头、铁屑等杂物通过通风窗落入机体内。

FX 系列 PLC 的安装方法有底板安装和 DIN 导轨安装两种。

1）底板安装。利用 PLC 机体外壳 4 个角上的安装孔，用规格为 M4 的螺钉将控制单元、扩展单元、A/D 转换单元、D/A 转换单元及 I/O 连接单元固定在底板上。

2）DIN 导轨安装。利用 PLC 底板上的 DIN 导轨安装杆将控制单元、扩展单元、A/D 转换单元、D/A 转换单元及 I/O 连接单元安装在 DIN 导轨上。安装时安装单元与安装导轨槽对齐向下推压即可。将该单元从 DIN 导轨上拆下时，需用平口螺钉旋具向下轻拉安装杆。

7.4.2　PLC 系统的接线

PLC 系统的接线主要包括电源接线、接地、I/O 接线及对扩展单元接线等。

1. 电源接线

PLC 供电电源为 50Hz、220(1 ± 10%)V 的交流电。FX 系列 PLC 有 DC 24V 输出接线端，该接线端可为传感器（如光电开关或接近开关）提供 DC 24V 电源。FX 系列 PLC 的外接电源端位于输出端子板左上角的两个接线端，使用直径为 0.2cm 的双绞线作为电源线。过强的噪声及电源电压波动过大都可能使 FX 系列 PLC 的 CPU 工作异常，以致引起整个控

制系统瘫痪。为避免由此引起的事故发生，在电源接线时，需采取隔离变压器等有效措施，且用于 FX 系列 PLC。I/O 设备及电动设备的电源接线应分开连接。如果电源发生故障，中断时间少于 10ms，PLC 工作不受影响；若电源中断超过 10ms 或电源下降超过允许值，则 PLC 停止工作，所有的输出点均同时断开。当电源恢复时，若 RUN 输入接通，则操作自动进行。对于从电源线来的干扰，PLC 本身具有足够的抵制能力。如果电源干扰特别严重，可以安装一个电压比为 1:1 的隔离变压器，以减少设备与地之间的干扰。

另外，在进行电源接线时还要注意以下 5 点：

1）FX 系列 PLC 必须在所有外部设备通电后才能开始工作。为保证这一点，可采取下面的措施：所有外部设备都上电后再将方式选择开关由“STOP”方式设置为“RUN”方式，将 FX 系列 PLC 编程设置为在外部设备未上电前不进行 I/O 操作。

2）当控制单元与其他单元相接时，各单元的电源线连接应能同时接通和断开。

3）当电源瞬间掉电时间小于 10ms 时，不影响 PLC 的正常工作。

4）为避免因失常而引起的系统瘫痪或发生无法补救的重大事故，应增加紧急停车电路。

5）当需要控制两个相反的动作时，应在 PLC 和控制设备之间加互锁电路。

使用无源触点的输入器件时，PLC 内部 DC24V 电源通过输入器件向输入端提供每点 7mA 的电流。PLC 上的 24V 接线端子还可以向外部传感器（如接近开关或光电开关）提供电流。24V 端子作传感器电源时，COM 端子是直流 24V 地端。如果采用扩展单元，则应将基本单元和扩展单元的 24V 端连接起来。另外，任何外部电源不能接到这个端子。如果发生过载现象，电压将自动跌落，该点输入对 PLC 不起作用。每种型号 PLC 的输入点数量是有规定的。对每一个尚未使用的输入点，它不耗电，因此在这种情况下，24V 电源端子向外供电流的能力可以增加。

FX 系列 PLC 的空位端子在任何情况下都不能使用。

电源干扰主要是通过供电线路的阻抗耦合产生的。电源是干扰进入 PLC 的主要途径之一，若有条件，则可对 PLC 采用单独的供电回路，以避免其他设备起停对 PLC 的干扰。在干扰较强或对可靠性要求很高的场合，可在 PLC 的交流电源输入端加接带屏蔽的隔离变压器和低通滤波器。隔离变压器可以抑制从电源线窜入的外来干扰，低通滤波器可以吸收掉电源中的大部分“毛刺”干扰。

动力部分、控制部分、PLC 与 I/O 电源应分别配线，如图 7-9 所示。隔离变压器与 PLC、I/O 电源之间采用双绞线连接。系统的动力线应有足够截面积，以降低线路压降。

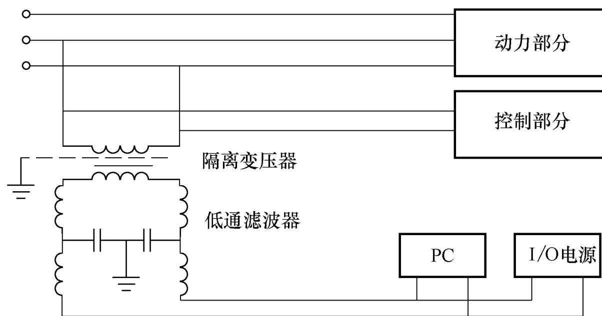


图 7-9　动力部分、控制部分、PLC 与 I/O 电源配线图

2. 接地

良好的接地是保证 PLC 可靠工作的重要条件，可以避免偶然发生的电压冲击危害。接地线与机器的接地端相接，基本单元接地。如果要用扩展单元，其接地点应与基本单元的接

地点接在一起。为了抑制加在电源及输入端、输出端的干扰，应给 PLC 接上专用地线，接地点应与动力设备（如电动机）的接地点分开。若达不到这种要求，也必须做到与其他设备公共接地，禁止与其他设备串联接地。接地点应尽可能靠近 PLC。在接地时要注意以下 4 点：

1）PLC 的接地线应为专用接地线，其直径应在 2mm 以上。

2）接地电阻应小于 100Ω。

3）PLC 的接地线不能和其他设备共用，更不能将其接到一个建筑物的大型金属结构上。

4）PLC 各单元的接地线相连。

3. 控制单元输入端子接线

PLC 一般接收行程开关、限位开关等输入的开关量信号。输入接线端子是 PLC 与外部传感器负载转换信号的端口。输入接线，一般指外部传感器与输入端口的接线。输入器件可以是任何无源的触点或集电极开路的 NPN 型晶体管。输入器件接通时，输入端接通，输入电路闭合，同时输入指示的发光二极管亮。输入端的一次电路与二次电路之间采用光耦合隔离。二次电路带 RC 滤波器，以防止由于输入触点抖动或从输入电路串入的电噪声引起 PLC 误动作。若在输入触点电路串联二极管，则串联二极管上的电压应小于 4V。若使用带发光二极管的舌簧开关，则串联二极管的数目不能超过两只。

图 7-10 所示为三菱公司 FX_{2N}-64MR 型 PLC 基本单元端子排列图。X 为输入端子，Y 为输出端子。图 7-10 中输出部分有 COM1、COM2…COM6，共 6 个公共点，构成 6 组输出，各组公共端间相互隔离。对共用一个公共端的同一组输出，必须用同一电压类型和同一电压等级，不同的公共端组可以使用不同的电压类型和电压等级。如 Y000 ~ Y003 共用 COM1、Y004 ~ Y007 共用 COM2，Y000 ~ Y003 使用的电压可以是 AC220V，Y004 ~ Y007 使用的电压可以是 DC24V。这为不同电压类型和等级的负载驱动提供了方便。

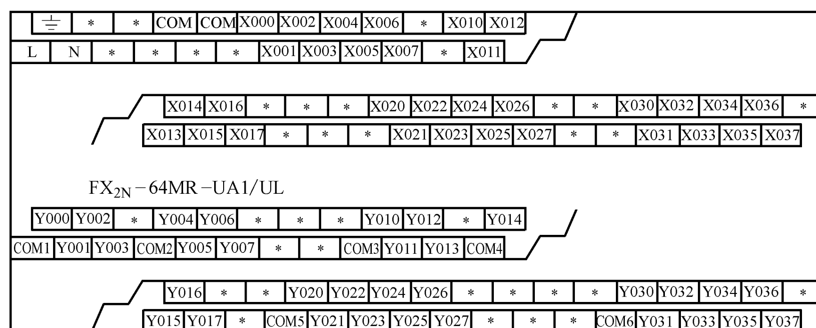


图 7-10　三菱公司 FX_{2N}-64MR 型 PLC 基本单元端子排列图

图 7-11 所示为三菱公司 FX_{2N} -64MR 型 PLC 输入信号接线图，输入端子和 COM 端子之间用无电压触点或集电极开路 NPN 型晶体管连接，就进入输入状态。这时表示输入的 LED 亮。

FX 系列 PLC 的控制单元输入端子板为两头带螺钉的可拆卸板，外部开关设备与 PLC 之间的输入信号均通过输入端子进行连接。在进行输入端子接线时，应注意以下 8 点：

1）输入线尽可能远离输出线、高压线及电动机等干扰源。

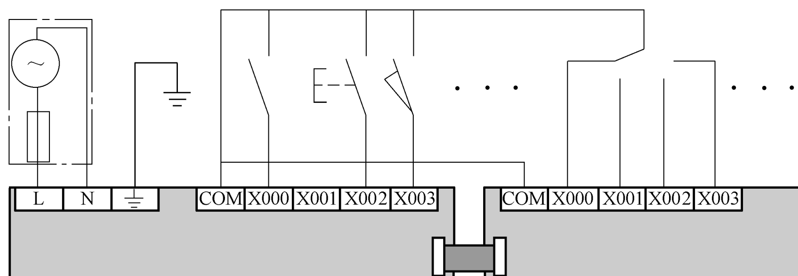


图 7-11　三菱公司 FX_{2N}-64MR 型 PLC 输入信号接线图

2）不能将输入设备连接到带“.”的端子上。

3）交流型 PLC 的内藏式直流电源输出可用于输入；直流型 PLC 的直流电源输出功率不够时，可使用外接电源。

4）切勿将外接电源加到交流型 PLC 内藏式直流电源的输出端子上。

5）切勿将用于输入的电源并联在一起，更不可将这些电源并联到其他电源上。

6）输入接线一般不要超过 30m，但如果环境干扰较小、电压降不大，输入接线可适当长些。

7）I/O 线不能用同一根电缆，I/O 线要分开。

8）PLC 所能接收的脉冲信号的宽度应大于扫描周期的时间。

4. 控制单元输出端子接线

1）PLC 有继电器输出、晶闸管输出和晶体管输出 3 种形式。

2）输出端接线分为独立输出和公共输出。当 PLC 的输出继电器或晶闸管动作时，同一号码的两个输出端接通。在不同组中，可采用不同类型和电压等级的输出电压；但在同一组中的输出，只能用同一类型、同一电压等级的电源。

3）由于 PLC 的输出器件被封装在印制电路板上，并且连接至端子板，若将连接输出元件的负载短路，将烧毁印制电路板，因此应用熔丝保护输出元件。

4）采用继电器输出时，承受的感性负载大小影响到继电器的工作寿命，因此继电器工作寿命要求长。

5）PLC 的输出负载可能产生噪声干扰，因此要采取措施加以控制。

此外，对于能使用户造成伤害的危险负载，除了在控制程序中加以考虑之外，还应设计外部紧急停车电路，使得 PLC 发生故障时能将引起伤害的负载电源切断。交流输出线和直流输出线不要用同一个电缆，输出线应尽量远离高压线和动力线，避免并行。

图 7-12 所示为三菱公司 FX_{2N}系列 PLC 输出接线示意图，图中继电器 KA1、KA2 和接触器 KM1、KM2 线圈接 AC 220V，电磁阀 YV1、YV2 接 DC 24V，这样电磁阀与继电器、接触器便不能分在一组中。而继电器、接触器为相同电压类型和等级，可以分在一组，如果一组安排不下，可以分在两组或多组中，但这些组的公共点要连在一起。

FX 系列 PLC 控制单元输出端子板为两头带螺钉的可拆卸板，PLC 与输出设备之间的输出信号均通过输出端子进行连接。在进行输出端子接线时，应注意以下 6 点：

1）输出线尽可能远离高压线和动力线等干扰源。

2）不能将输出设备连接到带“.”的端子上。

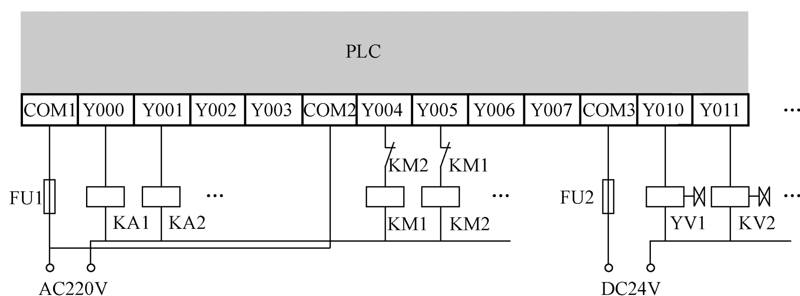


图 7-12　三菱公司 FX_{2N} 系列 PLC 输出接线示意图

3）各“COM”端均为独立的，故各输出端既可独立输出，又可采用公共并联输出。当各负载使用不同电压时，采用独立输出方式；而各个负载使用相同电压时，可采用公共输出方式。

4）当多个负载连到同一电源上时，应使用型号为 AFP1803 的短路片将它们的“COM”端短接起来。

5）输出端接感性负载时，需根据负载的不同情况接入相应的保护电路。在交流感性负载两端并联 RC 串联电路；在直流感性负载两端并联二极管保护电路；在带低电流负载的输出端并联一个泄放电阻以避免漏电流的干扰。以上保护器件应安装在距离负载 50cm 以内。

6）在 PLC 内部输出电路中没有熔丝，为防止因负载短路而造成输出短路，应在外部输出电路中安装熔断器或设计紧急停车电路。

上述接线的示意图，请参阅 FX 系列 PLC 的用户手册。

5. 扩展单元接线

一台 PLC 的 I/O 点数不够时，还可将 FX 系列 PLC 的基本单元与其他扩展单元连接起来使用。具体配置视不同的机型而定，当要进行扩展配置时，请参阅相关的用户手册。

6. FX 系列 PLC 的 A/D、D/A 转换单元接线

A/D、D/A 转换单元连接时的注意事项：

（1）A/D 转换模块

1）为防止输入信号上有电磁感应和噪声干扰，应使用两线双绞式屏蔽电缆；

2）建议将屏蔽电缆接到框架接地端；

3）若需将电压范围选择端短路，应直接在端子板上短接不要拉出引线短接；

4）应使主回路接线远离高压线；

5）应确保使用同一组电源线对控制单元和 A/D 转换单元进行供电。

（2）D/A 转换模块

1）为防止输出信号上有电磁感应和噪声干扰，应使用两线双绞式屏蔽电缆；

2）建议将屏蔽电缆接到负载设备的接地端；

3）在同一通道上的电压输出和电流输出不能同时使用，没有使用的输出端子应开路；

4）应使主回路接线远离高压线；

5）应确保使用同一组电源线对控制单元和 D/A 转换单元进行供电。

7.4.3 PLC 系统的安装与布线

PLC 系统的安装与布线应注意以下 6 点：

1. 安装位置

PLC 不能与高压电器安装在同一个开关柜内。与 PLC 装在同一个开关柜内的感性器件，如继电器、接触器的线圈应并联 RC 消弧电路。PLC 应远离强干扰源，如大功率晶闸管装置、高频焊机和大型动力设备等。

2. 连接线

通常，按钮、限位开关、接近开关等外接电气部件提供的开关量信号对电缆无严格要求，故可选用一般电缆。若信号传输较远，可选用屏蔽电缆。模拟信号和高速信号线也选用屏蔽电缆。

3. 布线信号线与功率线应分开布线

电源电缆应单独走线；不同类型的线应分别装入不同的管槽中，信号线应装入专用电缆管槽中，应尽量靠近地线或接地的金属导体。当信号线长度超过 300m 时，应采用中间继电器转接信号或使用 PLC 的远程 I/O 模块。电源线与 I/O 线也应分开走线，并保持一定的距离，若要在同一管槽中布线，应使用屏蔽电缆。交流电路用线与直流电路用线应分别使用不同的电缆。

4. 信号传输

通常，当模拟量 I/O 信号距 PLC 较远时，应采用 4 ~ 20mA 或 0 ~ 10mA 的电流传输方式，而不是电压传输方式。传输模拟信号的屏蔽线，其屏蔽层应一端接地。为了泄放高频干扰，数字信号线的屏蔽层应并联电位均衡线，并将屏蔽层两端接地。

5. 外接传感器

大量实践表明，PLC 控制系统的故障中相当一部分由外接传感器故障引起。特别是一些机械型的行程开关、限位开关的故障率，往往比 PLC 本身故障率高得多。所以在设计 PLC 控制系统时应采取相应的措施，如用高可靠性的接近开关代替机械型的行程限位开关。

6. 不同形式的直流输入信号与 PLC 的连接

在 PLC 控制系统中遇到的直流有源输入信号一般都是 5V、12V、24V、48V 等，而目前的 PLC 输入模块输入点的响应电压范围是 3 ~ 120V 之间，因此这类信号不必做转换处理，直接和 PLC 输入模块输入点连接。但和其他无源开关量信号以及其他来源的直流电压信号混合接入 PLC 输入点时，一定注意电压的 0V 点一定要连接。

如图 7-13 所示的西门子 PLC，输入点 I0.0、I0.1 连接光电编码器、接近开关的输出信号（OUT），它们的驱动电源由 PLC 自身的 24V 电源提供。它们 OUT 端子输出的信号是有源信号，和另外两个无源开关量信号 I0.2、I0.3 混合连接，PLC 的 M 端子与 PLC 的 0V 端子以及光电编码器、接近开关的 0V 信号连接在一起，PLC 输入点的响应电

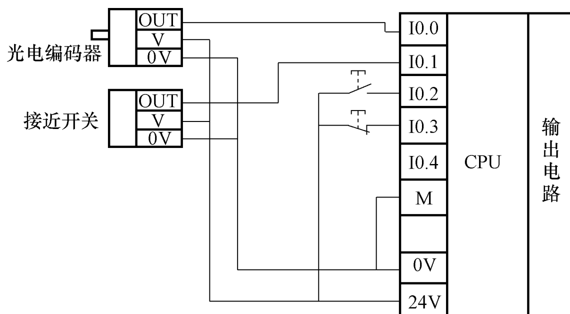


图 7-13　直流输入信号与 PLC 的连接

压电位差都是以一个共同参考点为基点的。

在图 7-13 中，光电编码器和接近开关的直流供电是由 PLC 自身 24V 电源提供的，这是 PLC 控制系统中经常使用的设计方法，这种方法使系统简单、成本低。但存在其他一些情况，比如 PLC 直流电源的容量无法支持过多的负载或者外部检测设备的电源不能使用 24V 电源，而必须 5V、12V 等。在这种情况下，就必须设计外部电源为这些设备提供电源，而且这些设备输出的信号电压不同，如图 7-14 所示。

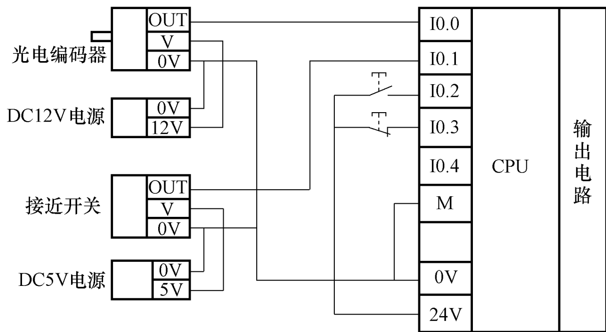


图 7-14　外部电源与 PLC 的连接

在图 7-14 中，光电编码器的电源是 12V，为它设计配备了 12V 的直流电源；接近开关的电源是 5V，为它设计配备了 5V 的直流电源。它们 OUT 端的输出信号分别是 12V 和 5V 的脉冲信号，而且在图中有两个无源开关量的输入信号。

不同电压的直流信号可与 PLC 输入模块输入点连接，但必须注意的是信号电位差的参考点必须相同。在图 7-14 中，光电编码器、接近开关、无源开关量的 0V 信号必须连接在一起，否则会出现 PLC 输入点的响应电压混乱，造成有的输入点电压过高。尽管可以触发输入点，但有可能过高的电压烧毁输入点。有的输入点的电压过低，无法触发输入点。这些在 PLC 控制系统中应特别注意。

7.5　PLC 控制系统故障检测与处理

7.5.1　PLC 的系统故障原因

PLC 由于抗干扰能力强、可靠性高、编程简单、性价比高，在工业控制领域得到了越来越广泛地应用。一个典型的 PLC 控制系统如图 7-15 所示。工业计算机作为中央控制单元，配有组态软件，选用大屏幕实时监视界面，实现各控制点的动态显示、数据修改、故障诊断、自动报警，还可显示查询历史事件记录、系统各主要部件累计运行时间、各装置工艺流程图、各装置结构图等。中央控制单元和下位机 PLC 之间采用串行通信方式进行数据交换，通常距离在 1000m 以内选用 RS485 双绞线通信方式。较长距离可选用光纤通信方式，更长距离也可选用无线通信方式。下位机选

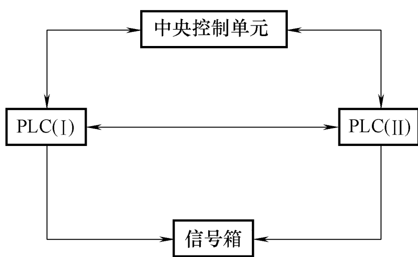


图 7-15　典型的 PLC 控制系统框图

用 PLC 控制，根据控制对象的多少、控制对象的范围，可选用一台或多台 PLC 进行控制。PLC 之间的数据交换是利用内部链接寄存器实现数据交换和共享。由于用 PLC 对现场进行实时监控具有很高的可靠性，且编程简单、灵活，因此越来越受到人们的重视。

虽然工业控制机和 PLC 本身都具有很高的可靠性，但如果输入给 PLC 的开关量信号出现错误、模拟量信号出现较大偏差、PLC 输出口控制的执行机构没有按要求动作，则这些都可能使控制过程出错，造成无法挽回的经济损失。

影响现场输入给 PLC 信号出错的原因主要有：

1）造成传输信号线短路或断路（由于机械拉扯、线路自身老化，特别是鼠害）。当传输信号线出故障时，现场信号无法传送给 PLC，造成控制出错。

2）机械触点抖动。现场触点虽然只闭合一次，PLC 却认为闭合了多次，虽然硬件加了滤波电路，软件增加微分指令，但由于 PLC 扫描周期太短，仍可能在计数、累加、移位等指令中出错，出现错误控制结果。

3）现场变送器。机械开关自身出故障，如触点接触不良，变送器反映现场非电量偏差较大或不能正常工作等，这些故障同样会使控制系统不能正常工作。

影响执行机构出错的主要原因有：

1）控制负载的接触不能可靠动作。虽然 PLC 发出了动作指令，但执行机构并没按要求动作。

2）控制变频器起动。由于变频器自身故障，变频器所带电动机并没按要求工作。

3）各种电动阀、电磁阀该开的没能打开，该关的没能关到位。由于执行机构没能按 PLC 的控制要求动作，使系统无法正常工作，降低了系统可靠性。

要提高整个控制系统的可靠性，必须提高输入信号的可靠性和执行机构动作的准确性，否则 PLC 应能及时发现问题，用声光等报警办法提示给操作人员尽快排除故障，让系统安全、可靠、正确地工作。

7.5.2 PLC 系统故障的判断

PLC 作为工业自动化的三大支柱，以其可靠性、灵活性在工业控制领域迅猛发展，得到了越来越广泛的应用。然而，PLC 并不是单独工作的，与之相连的有上位机和外联设备，有的还有模拟屏等，整个构成 PLC 系统。在这个系统中，往往一出故障就很难判断究竟是哪一部分引起的。据统计资料表明：在 PLC 控制系统的故障中，CPU 占 5%，I/O 接口占 15%，输入设备占 45%，输出设备占 30%，线路占 5%。前两项共 20% 故障属于 PLC 的内部故障，它可通过 PLC 本身的软、硬件实现检测、处理。本节将总结一些快速查找 PLC 系统故障原因的经验。

通常将 PLC 当作一个黑盒子，我们可以简单地根据 I/O 信号来判断故障的位置。判断故障的情况有两种，即模拟屏上闪烁的故障信号和该运行的设备在模拟屏上无显示。

1. 模拟屏上闪烁的故障信号

根据 PLC 控制站图纸，先检查该设备在模拟屏 PLC 柜内的显示状态，如果相符合再检查现场 PLC 柜的显示状态，同样符合时再继续检查 PLC 柜的 I/O 端子、外联设备的 I/O 端子，并由此推断出是设备故障还是 PLC 故障。以上过程如图 7-16 所示。

判断 PLC 柜 I/O 端子、外联设备的 I/O 端子是否与状态信号相符的方法很简单，只要

用万用表的直流电压档测量端子号与公共端的电压值即可：为 24V 表示断开，无信号；为 0V 表示接通，有信号。

2. 该运行设备在模拟屏上无显示

此时应判断是 PLC 是没有给运行信号，还是给了运行信号而设备有故障不能运行。

可以从现场的 PLC 柜输出模块地址中观察有无信号显示，继而检查 PLC 站输出继电器有无吸合，再看外联设备的电气柜有无驱动信号。如有，而设备不运行，则是设备有故障。如果设备正常运行，则应从外联设备的输入端往回查，过程正好与第一种故障检查过程相反。

以上过程可用图 7-17 所示框图表示。

如果设备正在运行，则按图 7-18 所示框图检查。

对模拟信号的检测，因仪表采用的是 4 ~ 20mA 输入，所以在模拟信号输入端串联一个万用表，检测模拟信号的电流值，并与 PLC 的输出值做比较，便可知道数值是否正确。

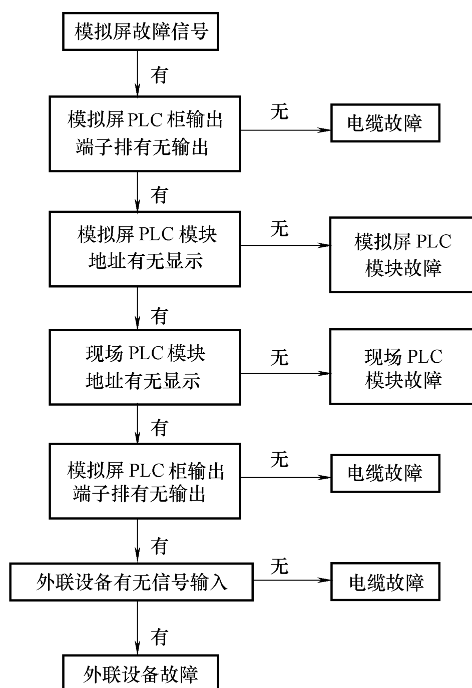


图 7-16　模拟屏上故障信号检测过程

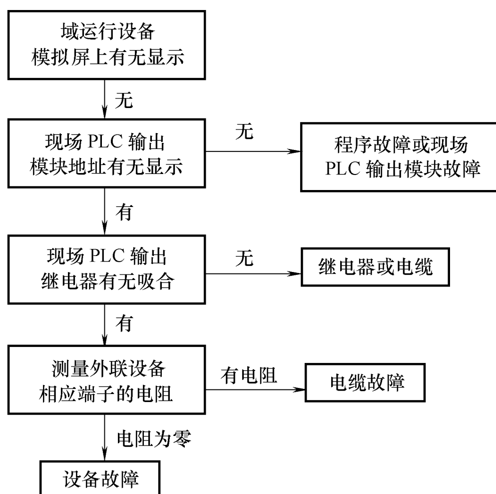


图 7-17　运行设备故障信号检测过程

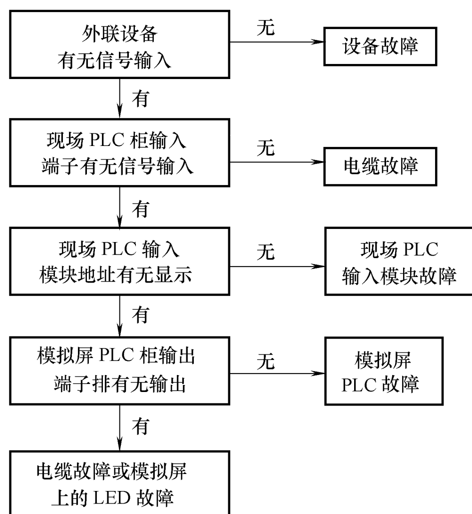


图 7-18　模拟信号检测的过程

有一种简单的方法可以迅速判断是 PLC 故障还是电器设备故障，就是短路法，即将外联设备状态输入线断开，用一条导线将输入端和公共线相连，这意味着给 PLC 一个接通的信号：如果 PLC 有显示，则 PLC 正常；反之，则为 PLC 有故障。

找到故障点以后应做出相应的处理。一般来说 PLC 发生故障的可能性较小，大部分故障原因是接线松了或线接错了或继电器有故障等，亦有 PLC 模板烧毁的情况，这时只能将

PLC 模板换掉。记住一定要断电操作，否则容易把好的模板烧毁，亦可能会牵连到 PLC 处理器。

在以 PLC 为核心的自动控制系统中，为提高系统的可靠性和容错能力，在硬件设计的基础上，可以通过梯形图软件的设计实现对系统故障的自动检测与处理。

（1）故障显示

1）设计时可使每一个故障点均有信号表示。其优点是直观、便于检查；缺点是程序复杂且输出单元占用较多，投资较大。

2）设计时也可将所有故障点均由一个信号表示。其优点是节约成本，减少了对输出单元的占有；缺点是具体故障回路不能直接判断出。

3）设计时还可将性质类似的一组故障点设成一个输出信号表示。

以上 3 种方案各有利弊，在条件允许、每个回路均很重要、且要求必须快速准确地判断出故障点时，采用第 1 种方案较好；一般情况下采用第 3 种方案比较好，由于故障分类报警显示，就可直接判断出故障性质，知道会对设备或工业过程造成何种影响，可立即采取相应措施加以处理，同时再结合其他现象、因素、另一组或几组报警条件将具体故障点从此类中划分出来。整个 PLC 内部程序、外部输出点及接线增加不多，性能价格比较高。

（2）I/O 故障的排除

一般 PLC 均有 LED 指示灯可以帮助检查故障是否由外部设备引起。不论在模拟调试还是在实际应用中，若系统某回路不能按照要求动作，则首先应检查 PLC 输入开关电接触点是否可靠（一般可通过查看输入 LED 指示灯或直接测量输入端得到）。若输入信号未能传到 PLC，则应去检查输入对应的外部回路；若输入信号已经采集到，则再看 PLC 是否有相应输出指示。若没有，则是内部程序问题或是输出 LED 指示灯问题；若输出信号已确信发出，则应去检查外部输出回路（从 PLC 输出往后检查）。

在输出回路中，由于短路或其他原因造成 PLC 输出点在内部黏滞，只需将其接线换至另一预留的空接线点上，同时修改相应程序，将原输出标号改为新地址号即可。

7.5.3　PLC 系统故障的检测

1. 输入控制电器短路故障的检测

（1）短路故障的分析与设计

为检测出某控制电器的短路故障，可在梯形图有关的步序段中串联上被检测电器的动合触点。当该电器动合触点变为闭合即出现短路故障时，则立即接通输出继电器，此继电器为 PLC 辅助继电器，使有关的输出设备停止工作，并使故障指示灯亮，以使操作人员迅速发现故障并判断出原因。为避免在步序转换瞬间有些被检测电器的动合触点闭合，致使故障指示出现短暂的错误，可根据需要设置若干个定时器，使步转换时间相同且有间隔的步共用一个定时器。定时器的动合触点串联在相应的步序段中，时间设定值略大于步转换时间，这样就不会出现错误的故障指示。若在每一步序段中设置一个由 PLC 内部辅助继电器组成的步序状态指示器，将指示器的动合触点与上述定时器的动合触点和故障输出继电器串联起来，就可实现利用步序状态指示器对该步进行故障检测。只有系统运行到该步才能检测出有关的故障电器。

PLC 控制系统的输入控制电器可能多达几十甚至上百个，即系统有几十甚至上百个步序

段，而状态寄存器的触点只能使用一次。若按步序指令编制程序，为检测故障就需另选内部辅助继电器作为状态指示器。这样不仅占用了大量辅助继电器，而且使梯形图相当复杂。在这种情形之下，采用移位寄存器的编程方法来编制程序比较理想。这样不仅可以利用移位寄存器对众多步序段系统进行控制，而且可利用 PLC 内部丰富的辅助继电器作为步序状态指示器，从而实现对众多输入控制电器的故障检测。

（2）故障检测的选择

假如在每一步序段对所有的输入控制电器全部进行检测，这将使梯形图非常繁杂。经分析和实际运用证明，不需要在每步序段对所有输入控制电器进行短路检测，只要在某步序段检测一个有关的输入电器即可。一般选取每一步序段中 LD 指令的控制电器，即开始某段程序的控制电器。

2. 输入控制电器开路故障的检测

（1）开路故障的分析与设计

在 PLC 控制系统正常运行的状态下，每一步序都有一定的时间间隔。若输入控制电器出现了开路故障，则系统将无法转入下一步的工作而停顿，故必须检测出控制电器的开路故障。要检测开路故障只要将有关步序的步序状态指示器的动合触点和下一步步序状态指示器的动断触点及定时器的线圈串联起来。在该步序段开始时立即定时，当该步序段结束并转入下一步后使定时器复位。若系统在定时器设定时间内结束该步，定时时间到，则其动合触点闭合，指示出故障信号。定时器定时值的选取需要注意以下两点：一是保证系统迅速检测出开路故障；二是准确的定时时间（即步进时间）需要现场调试确定。

（2）故障检测的选择

对大量输入控制电器进行开路检测必将占用较多的定时器，而 PLC 内部定时器数量有限，故对控制电器的检测可作如下处理：

1）对于步序时间相同且有间隔的步可共用一个定时器。

2）开路故障检测选取某步序段前 OUT 的控制电器。

3）选择故障率高的控制电器进行检测。

7.5.4　提高 PLC 系统可靠性的方法

机电设备控制系统中需要检测和控制的设备很多，它们在工作过程中都可能产生故障或误动作，造成事故和损失，必须及时、准确地发现系统中存在的故障，并采取相应的处理措施。某机电设备控制系统的核心是一台 OMRONC1000H PLC，用于控制液压系统电磁阀等器件，推动执行机构动作。为了实现自动化控制，系统应用了大量开关量和模拟量的传感器，检测各执行机构的动作过程和状态。对于这样一个系统，故障的来源可能是系统的检测设备，也可能是控制器件，还可能来自控制系统内部的逻辑错误。

为了提高系统的可靠性，在硬件设计的基础上，通过故障自动检测和处理软件的设计，实现控制系统对故障的自检测和自处理，其工作流程如图 7-19 所示。它包括 3 个步骤：一是控制器的功能自检，通过运行系统功能自检程序，由操作人员进行配合和观察，对控制器的功能进行全面检查；二是对故障的动态检测，在程序的运行过程中，同时运行故障的自动检测程序，对可能发生的各类故障进行实时检测和动态跟踪；三是对故障的处理，软件对检测到的各类故障信息进行分类处理，尽可能避免和减少故障带来的影响。

1. 系统功能自检

控制器是系统的控制核心。系统联机工作前，对控制器进行全面的功能自检可以及时发现和排除故障，消除事故隐患。为了能够方便、准确和全面地实现控制器的功能自检，设计了自检程序完成自检过程，包括：

（1）指示灯测试

进入控制器自检状态后，首先调用指示灯测试子程序。通过此项测试可以检查 PLC 软件的启动、运行是否正常，同时判断各指示灯及其输出通路是否存在故障。

（2）控制开关测试

指示灯测试通过后，自检程序转入控制开关测试子程序。此时，操作人员依次按下或接通控制面板上各按钮开关，测试子程序对各按钮开关及输入通路是否正常进行判断。

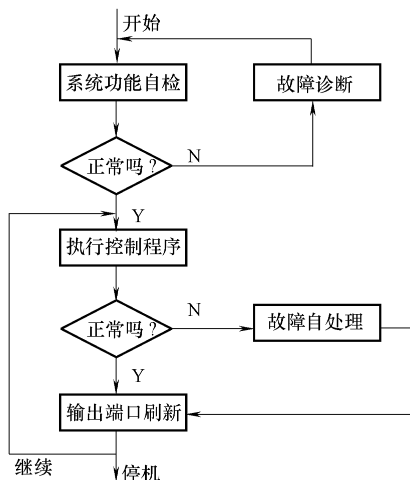


图 7-19　故障自检测流程示意图

（3）反馈信号通路测试

完成控制面板功能测试后，通过 I/O 等效器，由自检程序进行反馈信号通路测试。

（4）控制信号通路测试

进入控制信号通路测试子程序后，PLC 为各输出端口输出相应的信号，对控制信号输出通路进行测试。

（5）控制程序测试

在各 I/O 部件和通路测试完成后，自检程序调用实际的控制程序，在不进行实际输出的情况下，验证控制程序的正确性。

2. 故障动态检测

系统工作过程中，敏感器件、控制器件及控制器本身随时都可能出现故障和错误。为了能及时检测到故障的存在，系统通过软件的设计实现系统运行过程中对故障的实时动态检测。

该设备的控制系统实质上是一个系统状态的顺序控制过程，基于 PLC 特殊的周期扫描运行机制，控制程序的设计通过 3 个功能模块的设计来完成：输入信号检测模块，完成对外部各开关量和模拟量反馈信号的检测及转换；系统状态转换模块，检测信号、历史状态和实际要求，确定系统的当前状态；输出信号转换模块，根据系统当前状态，确定各控制信号的状态。PLC 在一个扫描周期内依次执行上述 3 个功能，在扫描周期的最后，实现对输出端口的刷新，完成系统控制功能。实现故障的动态检测功能就是在上述 3 个功能模块后加入故障检测模块，以判断整个控制过程是否正常。故障动态检测和处理过程如图 7-20 所示。

（1）输入信号相容性检查

控制器的外部开关量和模拟量输入信号，由于噪声、干扰、开关的误动作、模拟量信号误差等因素的影响，不可避免会形成输入信号的错误，引起程序判断的失误，造成事故。因此在 PLC 完成对输入信号的检测后，要对其正确性进行检查，主要是进行输入信号的相容性检查，包括开关信号之间的状态是否矛盾、模拟量值的变化范围是否正常、开关量信号与

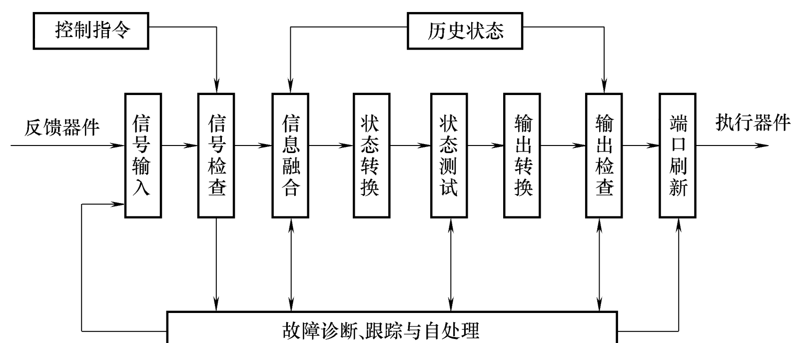


图 7-20　故障动态检测和处理过程示意图

模拟量信号之间是否一致以及各信号的时序关系是否正确。

以两个状态相反的开关信号为例，在 PLC 的一个扫描周期内，两个信号不可能同时为“1”，也不可能同时为“0”。可以根据此类开关信号相互间的逻辑关系，通过梯形图的编制来判断敏感器件或电路是否存在故障。图 7-21 中，X00010 和 X00011 为故障标志位，当两个输入信号同时为“0”或同时为“1”时，3000 为“1”。此信号锁存，以便故障处理程序进行查询。

（2）系统状态正确性检查

该系统是一个状态的顺序控制系统，输入信号用于控制系统状态的转换，状态转换的正确性是实现系统控制过程的关键。对系统状态正确性进行检查，主要是测试系统状态的序列是否正确、当前状态与外部输入信号的状态是否矛盾以及内部的时间标志是否正确，此外还可以检查系统是否存在“多一”故障。所谓“多一”，是指在同一时刻系统同时有两个状态执行标志位被开放，从而造成输出控制信号的逻辑混乱，产生不可预测的后果。通过软件完成对系统状态是否“多一”的检查。实现状态“多一”检查的梯形逻辑图如图 7-22 所示，其中 070 通道各位为系统状态标志位。当系统处于某一状态时，相应的标志位为“1”，其

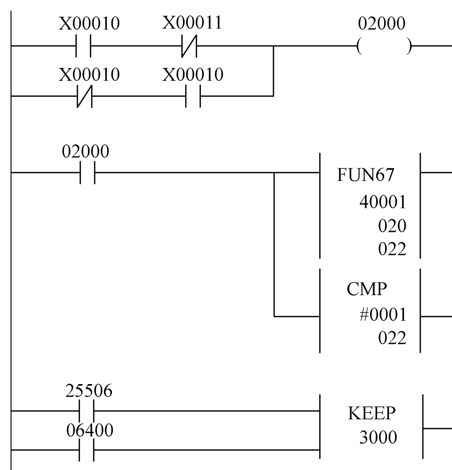


图 7-21　对开关信号逻辑关系的检查

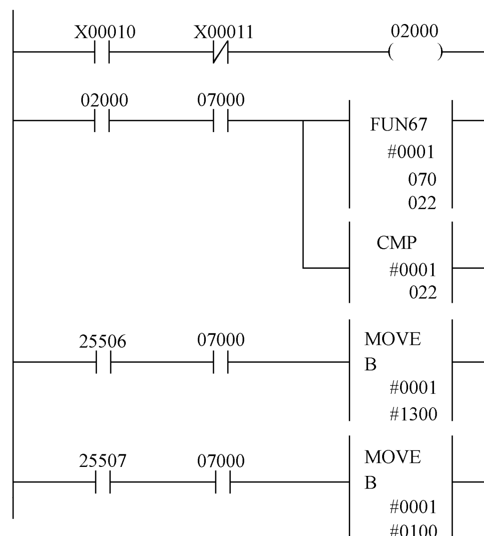


图 7-22　实现状态多一检查的梯形图

他位为“0”。通过检查各标志位中为“1”的个数，即可判断系统状态是否“多一”。当检测到“多一”故障时，程序控制系统急停，同时置“多一”标志位 06601 为“1”，供故障处理模块检测。

（3）输出信号正确性检查

控制程序的执行，最终是要产生控制信号。在程序执行的最后，在对 PLC 输出端口进行刷新之前，对产生的控制信号的正确性进行检查，是防止错误信号输出、避免故障发生的重要环节。

如同对输入信号的正确性检查一样，对输出信号的正确性检查，首先也是检查各信号之间的逻辑关系及时序关系是否正确。此外，还可根据输出信号的状态与控制过程之间的逻辑关系，判断设备的运行状况是否正常。如某一控制信号发出后，在一定时间内执行机构动作并到位。如果时间已到，但 PLC 并未接收到到位信号，则说明系统中存在故障。

3. 故障的分级处理

故障信息是通过分级进行处理的。

（1）一级故障

可能产生严重后果的故障，如“多一”故障等，要求系统立即停机，并向操作人员进行声光报警。当故障检测软件检测到一级故障时，由故障处理模块直接控制 PLC 输出端口的状态。

（2）二级故障

可能对控制过程产生影响，软件无法进行自纠正的故障。控制程序将转入暂停，各输出端口置为初始状态，并向操作人员进行声光报警。操作人员处理后，再继续执行程序。

（3）三级故障

对控制过程不立即产生影响，由故障处理程序进行自纠正处理，并通过信号输出模块屏蔽错误信号，同时向操作人员进行声光报警。一段时间后，如故障仍然存在，则故障升级。

（4）四级故障

程序检测到的一般性错误或异常，只记忆并向操作人员作出相应的指示，控制程序继续执行。

故障处理程序根据故障自检测程序检测到的故障信息进行相应的处理，为了便于进行分级处理，对各故障信息按级别进行故障编码，完成故障检测模块与故障处理模块之间的信息交换。

在系统硬件设计的基础上，通过软件方法实现对控制系统故障的检测与处理是提高系统可靠性和容错能力，避免和减少故障影响的重要一环。这里所述的方法是根据 PLC 控制系统的特点，通过梯形图软件的设计实现故障的自检测和自处理功能。这是一种经济、灵活和易于实现的方法，在某大型机电设备控制系统设计中得到了成功的应用。

7.5.5 故障检测的设计实例

在工业调试现场，一旦有一个故障发生，随之会有很多的故障发生。如果能找出第一个故障信号，将会给排除故障带来很大的方便，下面介绍一个首发故障信号的判断方法。

一个控制系统有 3 个故障信号，分别是 X000、X001、X002，状态为“1”时是故障。图 7-23 所示是首发故障的判断程序。

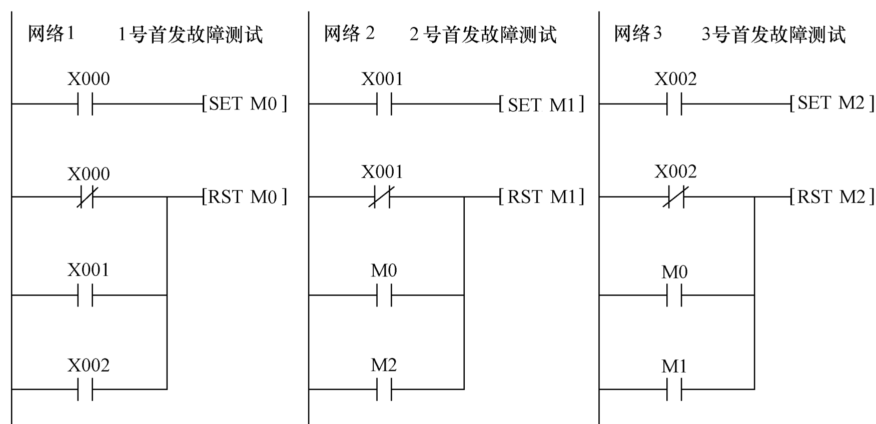


图 7-23 首发故障的判断程序

先要规定一个和故障信号数等量的中间变量，如 M0、M1、M2。一旦有故障发生，就在 M0、M1、M2 中记录该首发故障，相对应的输入为首发故障信号，则该位为“1”。即如果 M0 的状态为“1”，则 X000 为首发故障信号；如果 M1 的状态为“1”，则 X001 为首发故障信号，依次类推。

在第 1 支路，当 X000 为“1”时，置位 M0。若首发故障已存在，那么 M1 或 M2 中已有一个量变值为“1”，则复位 M0，即 X000 不是首发故障信号；若首发故障不存在，那么 M1 或 M2 没有一个值为“1”，则 M0 为“1”，X000 为首发故障信号，以此类推。一旦有故障发生，就在 M0、M1、M2 中记录了最先发生的故障。

从程序中可以看到，复位端的并联支路太多。本例有 3 个故障点，若系统较大，则可能会有几十个故障点，这时需要引进中间变量，使并联支路变少。

第 8 章　PLC 的应用实例

8.1　PLC 在开关量逻辑控制系统中的应用

近年来，随着生产过程对自动化的要求越来越高，PLC 被越来越广泛地应用到控制系统中。由于 PLC 主要完成开关量的控制，例如设备的起动及停止，因此在实际应用中 PLC 与向设备配电的电气系统联系较为密切。其衔接的好坏，将直接影响 PLC 能否正常地完成控制功能。

在现代化的工业生产设备中，有大量的数字量及模拟量控制装置，例如电动机的起停，电磁阀的开闭，产品的计数，温度、压力、流量的设定与控制等。工业现场中的这些自动控制问题，采用 PLC 来解决已成为最有效的工具之一。

8.1.1　液体混合控制

【例 8-1】　图 8-1 所示为 A、B 两种液体的混合装置。当按下起动按钮 SB1 时，A 阀门打开；当液位传感器 S2 接通时，A 阀门关闭，B 阀门打开；当液位传感器 S1 接通时，B 阀门关闭，电动机 M 接通转动；延时 60s 后，M 停止，阀门 C 打开；当液位传感器 S3 断开时，延时 2s 关闭阀门 C，混液罐排空。

图 8-1 中的初始状态为阀门全关闭，电动机停止，混液罐空。

图 8-2 所示为 PLC 的 I/O 连线图。

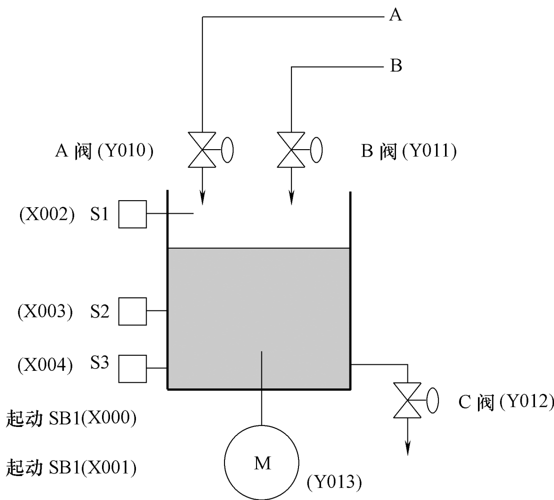


图 8-1　A、B 液体混合装置

A、B、C—电磁阀

S1、S2、S3—液位传感器，被溶液淹没时为 ON

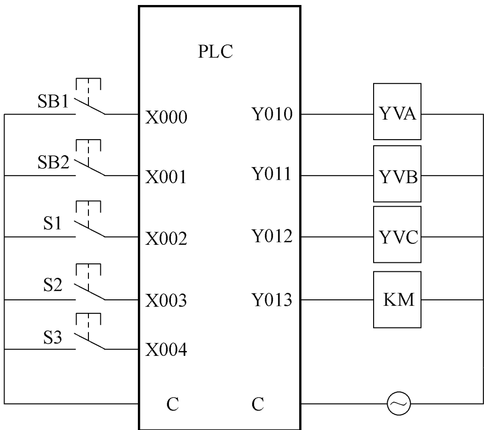


图 8-2　PLC 的 I/O 连线图

经验设计法梯形图如图 8-3 所示。

8.1.2　糖化系统控制

【例 8-2】 某厂的糖化车间，要求几十台设备（例如泵、搅拌器等）按照工艺要求由 PLC 实现程序控制，同时设模拟屏一个，能够显示设备的运行状态，还可手动遥控这些设备。根据上述要求，向设备配电的电气系统一、二次回路如图 8-4 所示。

2KV-1 为控制室送来的控制触点（动合），KM-2 和 KR-2 为送往控制室的状态触点（动合）。当万能转换开关 SA 转向“自动”时，该设备由 PLC 或模拟屏的按钮控制，转向“手动”时，由配电箱所带按钮 1SB、2SB 控制。在控制室，PLC 与电气系统的衔接如图 8-5 所示。

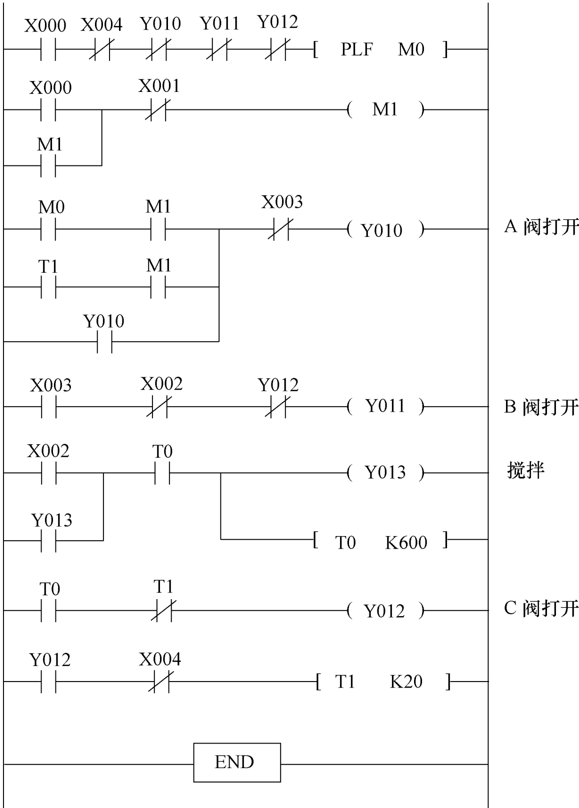


图 8-3　经验设计法梯形图

每一台设备对 PLC 有 3 个开关量输入、1 个开关量输出，它们是：由配电箱送来的状态触点信号 KM-2 控制一个中间继电器 1KV，其触点（动合）信号 1KV-1 用于控制模拟屏的信号灯，表示设备的运行状态，1KV-2 送入 PLC，由其检测设备状态，以供程序控制之用，同时，当 1KV-2 断开时，PLC 也一定使 2KV-1 断开，从而使控制该设备

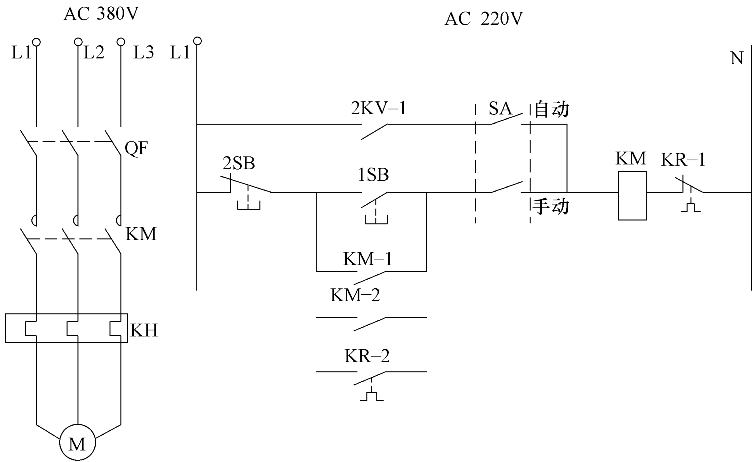


图 8-4　配电电气系统一、二次回路

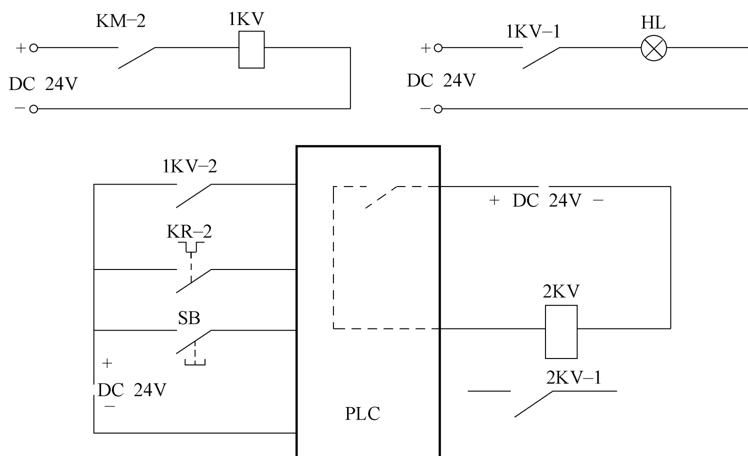


图 8-5　PLC 与电气系统的衔接

的控制电路在“自动”状态时，好像“手动”状态时一样具备“自保”功能，即接触器 KM 一旦断电便不再接通，除非重新起动；将热继电器的状态触点信号 KR-2 送入 PLC，是为保证电动机故障（如过载、堵转）时而使热继电器跳开后，能有效地断开其主电路，当 PLC 检测到 KR-2 闭合后，能有效地断开其主电路，当 PLC 检测到 KR-2 闭合后，即送出一个控制信号，使 2KV-1 转为动合，同时发出电动机故障信号；另一个开关量输入信号是模拟屏的按钮（自锁型）SB，当手动遥控状态时，PLC 根据此信号控制设备；根据程序运行结果（自动运行状态）或模拟屏按钮信号（手动遥控状态）或热继电器信号（故障状态），PLC 输出一个开关量信号，控制一个中间继电器 2KV，送到配电箱的就是其控制触点信号 2KV-1，由其控制设备的运行。

由于 PLC 对设备的控制需要通过电气系统来实现，因此做好两者的衔接是非常重要的。根据不同的控制要求，还可有其他的衔接方法，但既要考虑两者的特点和要求，又要保证能可靠地工作。

8.2　PLC 用于模拟量的控制

PLC 要在过程控制领域得以应用，模拟量的 I/O 接口是不可或缺的重要部件，其主要功能为数据转换、与 PLC 的基本单元的总线相连、由 CPU 调用和处理其数据。模拟量 I/O 模块常应用在温度控制、流量控制、速度控制、张力控制、压力控制、风力控制、电流和电压的监控中。

FX 系列 PLC 模拟量 I/O 模块主要有以下 4 种：

1）FX-4AD 模拟量输入模块；

2）FX-2AD-PT 温度传感器模拟量输入模块；

3）FX-4AD-TC 热电偶温度传感器模拟量输入模块；

4）FX-2DA 模拟量输出模块。

8.2.1　模拟量输入模块

FX_{2N}系列 PLC 常用的模拟量输入模块有 FX_{2N}-2AD、FX_{2N}-4AD、FX_{2N}-8AD 模拟量输入

模块和温度传感器输入模块。FX_{2N}-2AD 为 2 通道 12 位 A/D 转换模块。根据外部连接方法及 PLC 指令，可选择电压输入或电流输入，它是一种具有高精确度的输入模块。通过简易的调整或根据 PLC 的指令可改变模拟量输入的范围。瞬时值和设定值等数据的读出和写入用 FROM/TO 指令执行。

FX_{2N}-2AD 模块的技术指标见表 8-1。

表 8-1　FX_{2N}-2AD 模块的技术指标

项　目	输入电压	输入电流
模拟量输入范围	直流 0 ~ 10V、直流 0 ~ 5V（输入电阻 200kΩ），绝对最大量程：直流 −0.5V 和 +15V	4 ~ 20mA（输入电阻 250Ω），绝对最大量程：−2mA 和 +60mA
数字输出	12 位	
分辨率	2.5mV（10V/4000），1.25mV（5V/4000）	4μA[（20 ~ 4）mA/4000]
总体精度	±1%（满量程 0 ~ 10V）	±1%（满量程 4 ~ 20mA）
转换速度	2.5ms/通道（顺控程序和同步）	
隔离	在模拟和数字电路之间光隔离 直流/直流变压器隔离主单元电源 在模拟通道之间没有隔离	
电源规格	直流 5V、20mA（主单元提供的内部电源） 直流 24（1 ±10%）V、50mA（主单元提供的内部电源）	
占用的 I/O 点数	这个模块占用 8 个输入或输出点（输入或输出均可）	
适用的控制器	FX_{1N}/FX_{2N}/FX_{2NC}（需要 FX_{2NC} − CNV-IF）	
尺寸（宽 × 厚 × 高）/mm	43 × 87 × 90	

8.2.2　模拟量输出模块

FX_{2N}系列 PLC 常用的模拟量输出模块有 FX_{2N}-2DA、FX_{2N}-4DA、FX_{2N}-8DA 模拟量输出模块。FX_{2N}-2DA 为 2 通道 12 位 D/A 转换模块，是一种具有高精确度的输出模块。通过简易的调整或根据 PLC 的指令可改变模拟量输出的范围。瞬时值和设定值等数据的读出和写入用 FROM/TO 指令执行。

FX_{2N}-2DA 模块的技术指标见表 8-2。

表 8-2　FX_{2N}-2DA 模块的技术指标

项　目	输出电压	输出电流
模拟量输出范围	直流 0 ~ 10V、直流 0 ~ 5V（外部负载电阻 2kΩ ~ 1MΩ）	4 ~ 20mA（外部负载电阻不超过 500Ω）
数字输出	12 位	
分辨率 总体精度	2.5mV（10V/4000），1.25mV（5V/4000） ±1%（满量程 0 ~ 10V）	4μA[（4 ~ 20）mA/4000] ±1%（满量程 4 ~ 20mA）
转换速度	4ms/通道（顺控程序和同步）	
隔离	在模拟和数字电路之间光隔离 直流/直流变压器隔离主单元电源 （在模拟通道之间没有隔离）	
电源规格	直流 5V、30mA（主单元提供的内部电源） 直流 24（1 ±10%）V、85mA（主单元提供的内部电源）	
占用的 I/O 点数	这个模块占用 8 个输入或输出点（输入或输出均可）	
适用的控制器	FX_{1N}/FX_{2N}/FX_{2NC}（需要 FX_{2NC} − CNV-IF）	
尺寸（宽 × 厚 × 高）/mm	43 × 87 × 90	
重量/kg	0.2	

8.2.3 模拟量模块使用

模拟量模块使用包括确定模块的编号、缓冲寄存器（BFM）分配。

在 FX 系列 PLC 基本单元的右侧，可以连接最多 8 块特殊功能模块，它们的编号从最靠近基本单元的那一个开始顺次编为 0 ~7 号。如图 8-6 所示，该配置使用 FX_{2N} 48 的 48 点基本单元，连接 FX-4AD、FX-4DA、FX-2AD 三块模拟量模块，它们的编号分别为 0 号、1 号、2 号。这三块模块不影响右边两块扩展模块的编号，但会影响到总的 I/O 点数。3 块模拟量模块共占用 24 点，基本单元和扩展模块的总 I/O 点数只能有 232 点。

FX_{2N}-48MR X000~X027 Y000~Y027	FX-4AD	FX-8EX X030~X037	FX-4DA	FX-16ER X040~X047 Y030~X037	FX-2AD
	0 号		1 号		2 号

图 8-6　模拟量模块的编号

FX 系列 PLC 基本单元与 FX-4AD、FX-2DA 等模拟量模块之间的数据通信是由 FROM 指令和 TO 指令来执行的，FROM 指令是基本单元从 FX-4AD、FX-2DA 读数据的指令，TO 指令是从基本单元将数据写到 FX-4AD、FX-2DA 的指令。实际上读、写操作都是对 FX-4AD、FX-2DA 的 BFM 进行的。这一缓冲寄存器区由 32 个 16 位的寄存器组成，编号为 BFM#0 ~ BFM#31，见表 8-3。

表 8-3　FX-4AD 模块 BFM 的分配表

<table>
<tr><th>BFM</th><th colspan="9">内　容</th></tr>
<tr><td>* #0</td><td colspan="9">通道初始化，默认值为 H0000</td></tr>
<tr><td>* #1</td><td>通道 1</td><td colspan="8" rowspan="4">平均值取样次数　默认值为 8</td></tr>
<tr><td>* #2</td><td>通道 2</td></tr>
<tr><td>* #3</td><td>通道 3</td></tr>
<tr><td>* #4</td><td>通道 4</td></tr>
<tr><td>#5</td><td>通道 1</td><td colspan="8" rowspan="4">平均值</td></tr>
<tr><td>#6</td><td>通道 2</td></tr>
<tr><td>#7</td><td>通道 3</td></tr>
<tr><td>#8</td><td>通道 4</td></tr>
<tr><td>#9</td><td>通道 1</td><td colspan="8" rowspan="4">当前值</td></tr>
<tr><td>#10</td><td>通道 2</td></tr>
<tr><td>#11</td><td>通道 3</td></tr>
<tr><td>#12</td><td>通道 4</td></tr>
<tr><td>#13 ~ 19</td><td colspan="9">保留</td></tr>
<tr><td>* #20</td><td colspan="9">复位到默认值，默认值为 0</td></tr>
<tr><td>* #21</td><td colspan="9">禁止调整偏移、增益值，默认值为 0(1 为允许调整)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">* #22</td><td rowspan="2">偏移、增益调整</td><td>b7</td><td>b6</td><td>b5</td><td>b4</td><td>b3</td><td>b2</td><td>b1</td><td>b0</td></tr>
<tr><td>G4</td><td>O4</td><td>G3</td><td>O3</td><td>G2</td><td>O2</td><td>G1</td><td>O1</td></tr>
<tr><td>* #23</td><td colspan="9">偏移量，默认值为 0</td></tr>
<tr><td>* #24</td><td colspan="9">增益值，默认值为 5000</td></tr>
<tr><td>#25 ~ 28</td><td colspan="9">保留</td></tr>
<tr><td>#29</td><td colspan="9">错误状态</td></tr>
<tr><td>#30</td><td colspan="9">识别码 K2010</td></tr>
<tr><td>#31</td><td colspan="9">禁用</td></tr>
</table>

FX-4AD 模拟量输入模块连接在最靠近基本单元 FX_{2N}-48MR 的地方，它的编号为 No. 0。如果仅开通 CH1 和 CH2 两个通道作为电压量输入通道，计算平均值的采样次数定为 4，PLC 中的 D0 和 D1 分别接收这两个通道输入量平均值数字量，并编写梯形图程序，如图 8-7 所示。

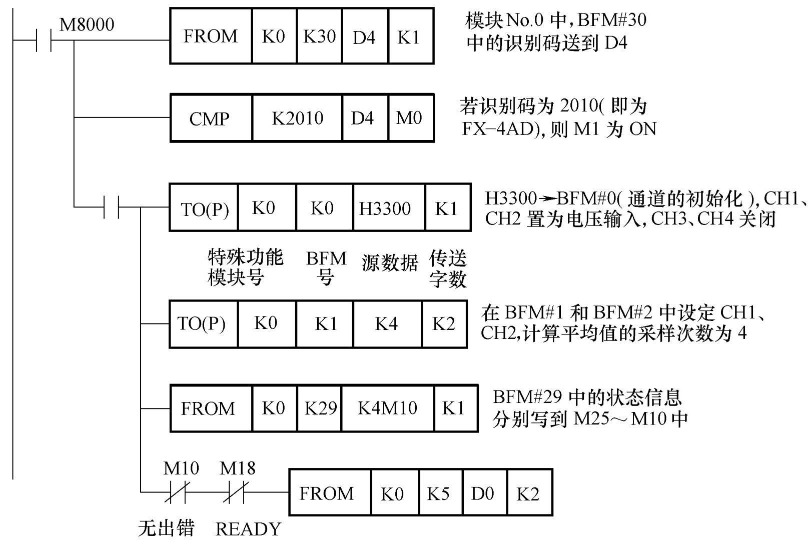


图 8-7　梯形图程序

8. 2. 4　编程举例

下面以制冷中央空调温度控制为例进行介绍。

1. 动作要求分析

该制冷系统使用两台压缩机组，系统要求温度在低于 12℃时，不起动机组；在温度高于 12℃时，两台机组顺序起动；温度降低到 12℃时，停止其中一台机组。要求先起动的一台停止，温度降到 7. 5℃时，两台机组都停止；温度低于 5℃时，系统发出超低温报警。

2. 硬件设计

在这个控制系统中，温度点的检测可以使用带开关量输出的温度传感器来完成，但是有的系统的温度检测点有很多，或根据环境温度变化要经常调整温度点，要用很多开关量温度传感器，占用较多的输入点，安装、布线不方便。把温度信号用温度传感器转换成连续变化的模拟量，那么这个制冷机组的控制系统就是一个模拟量控制系统。对于一个模拟量控制系统，采用 PLC 控制，控制性能可以得到极大的改善。在这里选用 FX_{2N}-32MR 基本单元与 FX_{2N}-4AD-PT 模拟量输入单元，就能方便地实现控制要求。

（1） 中央空调温度控制 I/O 分配表

系统的输入信号包括起动按钮、停止按钮、压力保护 1、压力保护 2、过载保护 1、过载保护 2、手动/自动转换、手动起动 1、手动起动 2。

系统输出信号包括 1 号和 2 号机组的控制、压力、过载、超低温报警。

（2） 中央空调温度控制硬件连线图（见图 8-8）

（3） 温度读取模块中温度的读取程序（见图 8-9）

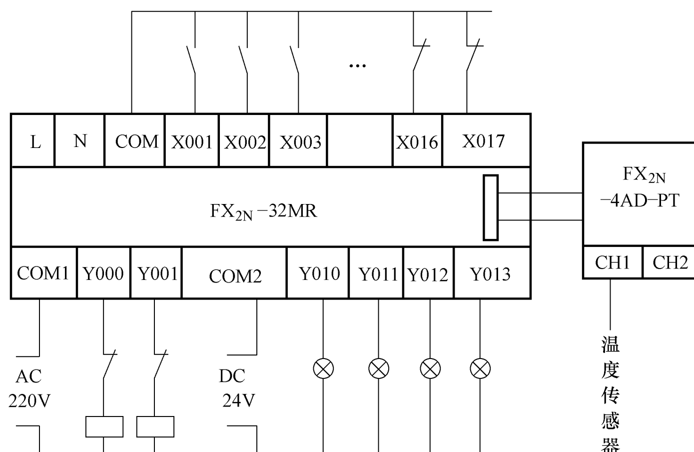


图 8-8　中央空调温度控制硬件连线图

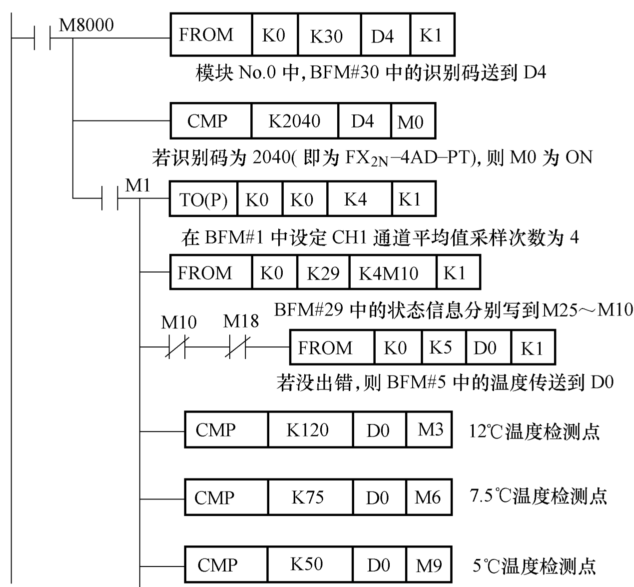


图 8-9　温度读取模块中温度的读取程序

8.3　PLC 用于数控机床控制

8.3.1　数控机床 PLC 的形式

数控机床的控制可分为两个部分：一是坐标轴运动的位置控制，二是数控机床加工过程的顺序控制。在分析 PLC、CNC（计算机数控）系统和机床的各部分信号之间的关系时，常把数控机床分为“CNC 侧”和“MT 侧（即机床侧）”两大部分。“CNC 侧”包括 CNC 系统的硬件和软件以及与 CNC 系统连接的外部设备；“MT 侧”包括机械部分、辅助装置、机床

操作面板、机床强电线路等。PLC 处于 CNC 和 MT 之间，对 CNC 侧和 MT 侧的 I/O 信号进行处理。

（1） CNC 侧到 MT 侧

CNC 侧的输出数据经 PLC 逻辑处理，通过 I/O 接口送至 MT 侧。CNC 侧到机床的信号主要是 M、S、T 等功能代码。

1） S 功能的处理：在 PLC 中可用 4 位代码直接指定转速。

2） T 功能的处理：数控机床通过 PLC 管理刀库，进行自动换刀。

3） M 功能的处理：M 功能是辅助功能，根据不同的 M 代码，PLC 可控制主轴的正、反转和停止，主轴齿轮箱的换挡变速，主轴准停，切削液的开关，卡盘的夹紧、松开，机械手的取刀、归刀等。

（2） MT 侧到 CNC 侧

从 MT 侧输入的开关量经 PLC 逻辑处理传送到 CNC 侧。MT 侧传递给 PLC 的信号是机床操作面板上各开关、按钮等信息。

数控机床用 PLC 分为两大类：一类是专为数控机床应用面设计制造的内装型 PLC；另一类是那些 I/O 接口技术规范、I/O 点数、程序存储容量以及运算和控制功能等均满足数控机床控制要求的独立型 PLC。

（1） 内装型 PLC

内装型 PLC 从属于 CNC 装置，PLC 与 CNC 侧的信号传递在 CNC 装置内部即可实现。PLC 侧与 MT 侧则通过 CNC 的 I/O 接口电路实现信号传递，如图 8-10 所示。

内装型 PLC 实际上是 CNC 装置带有 PLC 功能，其性能指标是根据所从属的 CNC 装置的规格、性能、适用机床的类型等确定的，因此系统硬件和软件整体结构十分紧凑；内装型 PLC 可与 CNC 共用 CPU，也可单独使用 CPU，不单独配备 I/O 接口，而使用 CNC 装置本身的 I/O 接口；采用内装型 PLC 结构，CNC 系统可以具有某些高级功能，如梯形图编辑和传送功能等。目前，世界上著名的 CNC 生产厂商生产的 CNC 装置，大多开发了内装型 PLC 功能。

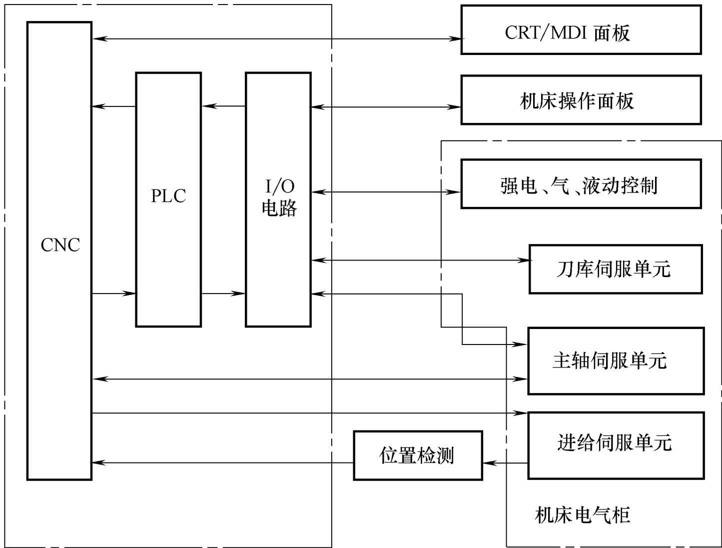


图 8-10　内装型 PLC 数控机床系统框图

（2）独立型 PLC

独立型 PLC 又称通用型 PLC。独立型 PLC 独立于 CNC 装置，具有完备的硬件和软件功能，能独立完成规定的任务。采用独立型 PLC 的数控机床系统框图如图 8-11 所示。独立型 PLC 大多采用模块化结构，I/O 点数可以通过 I/O 模块的增减灵活配置。

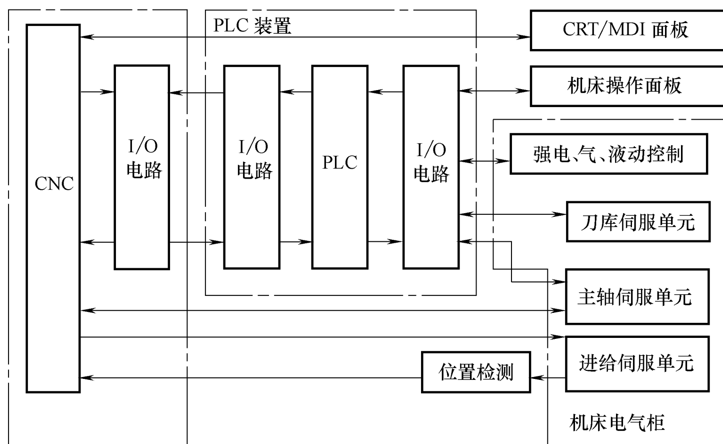


图 8-11　独立型 PLC 数控机床系统框图

8.3.2　数控机床 PLC 的 I/O 信号

在数控技术中，PLC 是可编程序控制器的专用缩写名称。几乎每台数控机床都有 PLC 以及 PLC 控制程序，它规定了数控系统在接收到从机床传来的各种输入信号后，如何按一定的时间顺序发出各种指令去指挥机床的各个功能动作或显示各种信息。

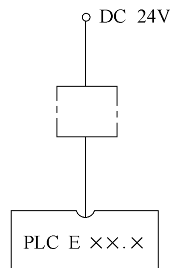


图 8-12　输入信号电路形式

输入信号电路形式如图 8-12 所示，DC 24V 电源正端通过点划线框送到 PLC 的输入端 E××.×。点划线框所代表的元器件以及通过它送到 PLC 输入端的信号，其含义不外乎是以下 6 种：

1）紧急停止开关、限位开关的触点：输入信号反映是否触碰了紧急停止开关，各伺服轴行程是否超越了极限位置。

2）液压泵电动机、润滑泵电动机、冷却液泵电动机和排屑器电动机自动开关的辅助触点：输入信号反映了这些电动机是否在正常运转。

3）温度传感器：输入信号反映电控柜等装置内部温度是否正常。

4）压力传感器：输入信号反映液压系统、气动系统、润滑系统中某点的压力是否在正常范围内。在液压系统和润滑系统中还用于检测过滤器是否阻塞。

5）位置传感器（接近开关）：输入信号反映主轴变速齿轮挡变换到位的情况、自动换刀器的转臂和机械手的当前位置、托板工作台的位置、刀库元器件的当前位置、刀具在主轴锥孔中是否放松了等信息。

6）液位传感器：输入信号反映液压油箱、润滑液箱、冷却液箱、回流液箱内液面的高低。

尚有另外一些输入信号，借助于一些按钮和开关送到 PLC 中，在此从略。

PLC 的输出信号比较简单。PLC 的 DC 24V 电源输出与各继电器线圈、电磁阀线圈或指示灯等元件相连，或驱动某元件动作，或发出某信号。电气原理图中对 PLC 输出信号的注释往往有很明确的含义，维修人员不会误解。例如，某输出信号 A××. ×的注释是：“夹紧工作台”，则可以立即知道：当输出信号 A××. ×＝“1”（逻辑“1”，即 DC 24V）时，就会发生夹紧工作台的动作。把 A××. ×＝“1”跟注释内容对应起来，划上等号。

然而，对于 PLC 的输入信号情况则不然，因为 E××. ×＝“1”跟注释内容并不一定能对等起来。把输入信号＝“1”与注释内容相对应称为“正逻辑”注释法，把输入信号＝“0”与注释内容相对应称为“负逻辑”注释法。例如，某公司 CW800 加工中心上用E8. 7＝“1”表示“液压油温度太高”，使用了“正逻辑”的注释法，而另一台 CW500 加工中心，虽出自同一制造厂商，却以 E23. 1＝“0”表示“液压油温度太高”，使用了“负逻辑”注释法。

一台机床的 PLC 输入信号注释如果全部使用“正逻辑”，就会给故障诊断带来很大的方便。但事实上许多数控机床制造厂商给用户的 PLC 输入信号清单中都是正、负逻辑混用的，这给维修人员带来了很大困难。可以用以下 5 个办法来确定某个输入信号的注释是使用了哪种“逻辑”。

1）对于有些输入信号，特别是经由急停开关、限位开关触点串联电路输入的信号，以及经由自动开关辅助触点串联电路输入的信号，从电路图上可以判定：输入信号必须为“1”时才属于正常状态。

2）对于经由位置传感器中的感应式接近开关输入的信号，可以直接观察机床上的运动部件与传感器之间的相对位置得出明确的结论。受控的运动部件（如换刀器转臂、机械手等）向接近开关趋近，到达规定位置后，接近开关发出“1”信号。因此，绝大多数情况下，编制 PLC 程序时，都会以“正逻辑”作注释。如在机床上不易观察到实物，也可以从机械装配图中得出结论。需要注意的是，也有例外情况。例如，在图 8-13 中的受控运动部件向右运动过程中，缺口中心线尚未到达传感器轴心线位置时，传感器始终送出“1”信号给 PLC。一旦缺口中心线与传感器轴心线基本重合，由于感应距离太远，传感器就送出“0”信号给 PLC。数控机床制造厂商在 PLC 程序中对这种情况往往简单地注释为“E××. ×某某部件定位”，但从图中可以清楚地知道：定位时，输入信号实际是“0”，因此厂商用的是“负逻辑”注释。这一类的例外情况往往会造成误诊断，在最坏的情况下会使机械故障越来越严重；所以在有疑问时，必须去观察实物环境或从机械装配图中求得答案。

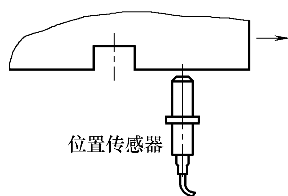


图 8-13　受控机械部件的运动以及位置传感器的检测方式

3）机床在正常运转情况下，不会有任何报警或故障信息显示。这时，可以利用自动运行时的空隙时间，在诊断某菜单页面上查阅到各输入信号的状态，将其抄录下来，然后与输入信号清单的注释一一对照。用这个方法可以得到以下这类信号究竟是“1”还是“0”算正常：“电控柜的温度”、“液压油的温度”、“保护门栅开启/关闭”、“液压回路畅通/阻塞”、“润滑油、液压油、冷却液液面位置”、“压缩空气压力”、“参考点到达”等。对于运动着的机床，这类信息相对静止，所以记录下来有意义。一旦有故障，屏幕上出现报警信息时，再去查输入信号，与记录的内容一比较就更可以确定故障的性质了。

4）有些输入信号不一定是“1”/“0”就是正常状态，而变成“0”/“1”就是非正常状态。这些信号随特定条件而变化，并产生不同的结果，这在输入信号清单中是看不出明确的详尽含义的。这类信号有“参考点限位”、“减速限位”、“Y 轴和 Z 轴互锁限位”等。例如，在 CW500、CW800、CW1000 等加工中心上都有跟 Y/Z 轴互锁有关的限位信号，用于防止主轴箱已经降至低位时，立柱向前继续运动而撞到工作台；以及防止立柱已经靠近工作台时，主轴箱继续向下运动而撞到工作台。对于这类信号，要研究的是它们的动态变化，而不是静态状况。所以，必要时可以在机床不加工产品时与操作工配合，让轴慢慢运动，并将各限位开关的输入信号变化一一记下，留作分析用。

5）某些信号，不论从电路图、实物环境，还是从屏幕显示来观察分析，均得不出明确结论，这时往往要借助于阅读分析 PLC 控制程序来完成。

以上情况均可以从分析 PLC 程序文本中的有关程序段/块来解决。

第 9 章　PLC 的网络及通信

9.1　PLC 的通信网络概述

9.1.1　数据通信基本概念

1. 并行通信与串行通信

数据通信主要有并行通信和串行通信两种方式。

并行通信是以字节或字为单位的数据传输方式，并行通信的传输速度快，但是数据有多少位就需要多少根传输线，所以在位数多、传输距离远时，通信线路复杂、成本高。它一般用于近距离的数据传送。并行通信一般用于 PLC 的内部，如 PLC 内部元器件之间、PLC 主机与扩展模块之间或近距离智能模块之间的数据通信。

串行通信是以二进制的位（bit）为单位的数据传输方式，每次只传输一位，串行通信需要的信号线少，最少的只需要两三根线，适用于距离较远的场合，但传输速度较慢。它多用于传输距离长、低速度的场合。计算机和 PLC 都备有通用的串行通信接口，工业控制中一般使用串行通信方式。串行通信多用于 PLC 与计算机之间、多台 PLC 之间的数据通信。

在串行通信中，传输速率常用比特率（每秒传送的二进制位数）来表示，其单位是 bit/s。传输速率是评价通信速度的重要指标，常用的标准传输速率有 300bit/s、600bit/s、1200bit/s、2400bit/s、4800bit/s、9600bit/s 和 19200bit/s 等。不同的串行通信的传输速率差别极大，有的只有数百 bit/s，有的可达 100Mbit/s。

2. 单工通信与双工通信

串行通信按信息在设备间的传送方向又分为单工、双工两种方式。

单工通信方式只能沿单一方向发送或接收数据。双工通信方式的信息可沿两个方向传送，每一个站既可以发送数据，也可以接收数据。

双工通信方式又分为全双工和半双工两种方式。数据的发送和接收分别由两根或两组不同的数据线传送，通信的双方都能在同一时刻接收和发送信息，这种传送方式称为全双工方式；用同一根线或同一组线接收和发送数据，通信的双方在同一时刻只能发送数据或接收数据，这种传送方式称为半双工方式。在 PLC 通信中常采用半双工和全双工通信。

3. 异步通信与同步通信

目前，串行通信主要有两种类型：异步通信和同步通信。

在串行通信中，通信的传输速率与时钟脉冲有关，接收方和发送方的传输速率应相同，但是实际的发送速率与接收速率之间总是有一些微小的差别，如果不采取一定的措施，在连续传送大量的信息时，将会因积累误差造成错位，使接收方收到错误的信息。为了解决这一问题，需要使发送和接收同步。按同步方式的不同，可将串行通信分为异步通信和同步通信。

异步通信发送的数据字符由一个起始位、7～8 个数据位、1 个奇偶校验位（可以没有）和停止位（1 位、1.5 位或 2 位）组成。通信双方需要对所采用的信息格式和数据的传输速率做相同的约定。接收方检测到停止位和起始位之间的下降沿后，将它作为接收的起始点，在每一位的中点接收信息。由于一个字符中包含的位数不多，即使发送方和接收方的收发频率略有不同，也不会因两台机器之间时钟周期的误差积累而导致错位。异步通信的传输效率较低，一般用于低速通信，PLC 一般使用异步通信。

同步通信以字节为单位（一个字节由 8 位二进制数组成），每次传送 1～2 个同步字符、若干个数据字节和校验字符。同步字符起联络作用，用它来通知接收方开始接收数据。在同步通信中，发送方和接收方要保持完全的同步，这意味着发送方和接收方应使用同一时钟脉冲。在近距离通信时，可以在传输线中设置一根时钟信号线；在远距离通信时，可以在数据流中提取出同步信号，使接收方得到与发送方完全相同的接收时钟信号。由于同步通信方式不需要在每个数据字符中加起始位、停止位和奇偶校验位，只需要在数据块（往往很长）之前加一两个同步字符，所以传输效率高，但是对硬件的要求较高，一般用于高速通信。

4. 基带传输与频带传输

基带传输是按照数字信号原有的波形（以脉冲形式）在信道上直接传输的，它要求信道具有较宽的通频带。基带传输不需要调制解调，设备花费少，适用于较小范围的数据传输。频带传输是一种采用调制解调技术的传输形式：发送端采用调制手段，对数字信号进行某种变换，将代表数据的二进制“1”和“0”变换成具有一定频带范围的模拟信号，以适应在模拟信道上的传输；接收端通过解调手段进行相反变换，把模拟的调制信号复原为“1”或“0”。常用的调制方法有频率调制、振幅调制和相位调制。具有调制、解调功能的装置称为调制解调器，即 MODEM。频带传输较复杂，传送距离较远，若通过市话系统配备调制解调器，则传送距离可不受限制。

PLC 通信中，基带传输和频带传输两种传输方式都有采用，但多采用基带传输方式。

9.1.2 PLC 常用的通信介质

通信介质就是在通信系统中位于发送端与接收端之间的物理通路，通信介质一般可分为导向性和非导向性介质两种。

导向性介质有双绞线、同轴电缆和光纤等，这种介质将引导信号的传播方向；非导向性介质一般通过空气传播信号，它不为信号引导传播方向，如短波、微波和红外线通信等。

下面将简单介绍三种常用的导向性通信介质。

1. 双绞线

双绞线是一种廉价而又广为使用的通信介质，它由两根彼此绝缘的导线按照一定规则以螺旋状绞合在一起，这种结构能在一定程度上减弱来自外部的电磁干扰及相邻双绞线引起的串音干扰，但在传输距离、带宽和数据传输速率等方面双绞线仍有其一定的局限性。

双绞线常用于建筑物内局域网数字信号传输，这种局域网所能实现的带宽取决于所用导线的质量、长度及传输技术。只要选择、安装得当，在有限距离内数据传输速率可达到 10Mbit/s。当距离很短且采用特殊的电子传输技术时，传输速率可达 100Mbit/s。

在实际应用中，通常将许多对双绞线捆扎在一起，用起保护作用的塑料外皮将其包裹起来制成电缆。采用上述方法制成的电缆就是非屏蔽双绞线电缆。为了便于识别导线和导线间的配对关系，双绞线电缆中每根导线使用不同颜色的绝缘层。为了减少双绞线间的相互串扰，电缆中相邻双绞线一般采用不同的绞合长度。非屏蔽双绞线电缆价格便宜、直径小、节省空间、使用方便灵活、易于安装，是目前最常用的通信介质。

2. 同轴电缆

同轴电缆由内、外层两层导体组成。内层导体是由一层绝缘体包裹的单股实心线或绞合线（通常是铜制的），位于外层导体的中轴上；外层导体是由绝缘层包裹的金属包皮或金属网；同轴电缆的最外层是能够起保护作用的塑料外皮。同轴电缆的外层导体不仅能够充当导体的一部分，而且还能起到屏蔽作用。这种屏蔽一方面能防止外部环境造成干扰，另一方面能阻止内层导体的辐射能量干扰其他导线。

与双绞线相比，同轴电线抗干扰能力强，能够应用于频率更高、数据传输速率更快的情况。虽然目前同轴电缆大量被光纤取代，但它仍广泛应用于有线电视和某些局域网中。

目前得到广泛应用的同轴电缆主要有 50Ω 电缆和 75Ω 电缆这两类：50Ω 电缆用于基带数字信号传输，又称基带同轴电缆，数据传输速率可达 10Mbit/s，这种电缆主要用于局域以太网；75Ω 电缆可用于传输宽带模拟信号，也可用于传输数字信号，对于模拟信号而言，其工作频率可达 400MHz。

3. 光纤

光纤是一种传输光信号的传输媒介。光纤最内层的纤芯是一种横截面积很小、质地脆、易断裂的光导纤维，制造这种纤维的材料可以是玻璃也可以是塑料。纤芯的外层裹有一个包层，它由折射率比纤芯小的材料制成。正是由于在纤芯与包层之间存在着折射率的差异，光信号才得以通过全反射在纤芯不断向前传播。在光纤的最外层则是起保护作用的外套。通常都是将多根光纤扎成束并裹以保护层制成多芯光缆。

从不同的角度考虑，光纤有多种分类方式。根据制作材料的不同，光纤可分为石英光纤、塑料光纤、玻璃光纤等；根据传输模式的不同，光纤可分为多模光纤和单模光纤；根据纤芯折射率分布的不同，光纤可以分为突变型光纤和渐变型光纤；根据工作波长的不同，光纤可分为短波长光纤、长波长光纤和超长波长光纤。

在实际光纤传输系统中，还应配置与光纤配套的光源发生器件和光检测器件。目前最常见的光源发生器件是发光二极管（LED）和注入激光二极管（ILD）。光检测器件是在接收端能够将光信号转化成电信号的器件，目前使用的光检测器件有光敏二极管（PIN）和雪崩光敏二极管（APD）。光敏二极管的价格较便宜，然而雪崩光敏二极管却具有较高的灵敏度。

与一般的导向性通信介质相比，光纤具有很多优点：

1）光纤支持很宽的带宽，其范围大约在 1014 ~ 1015Hz 之间，这个范围覆盖了红外线和可见光的频谱。

2）具有很快的传输速率，当前限制其所能实现的传输速率的因素来自信号生成技术。

3）光纤抗电磁干扰能力强，由于光纤中传输的是不受外界电磁干扰的光束，而光束本身又不向外辐射，因此它适用于长距离的信息传输及安全性要求较高的场合。

4）光纤衰减较小，中继器的间距较大。采用光纤传输信号时，在较长距离内可以不设

置信号放大设备，从而减少了整个系统中继器的数目。

当然光纤也存在一些缺点，如系统成本较高、不易安装与维护、质地脆易断裂等。三种传送介质性能比较见表9-1。

表9-1　三种传送介质性能比较

性　能	双　绞　线	同轴电缆	光　　缆
传送速率/(Mbit/s)	1～4	1～450	10～500
连接方法	点对点，多点1.5km不用中继器	点对点，多点1.5km不用中继器(基带)或10km不用中继器(宽带)	点对点50km不用中继器
传送信号	数字信号、调制信号、模拟信号(基带)	数字信号、调制信号(基带)数字、声音、图像(宽带)	调制信号(基带)数字、声音、图像(宽带)
支持网络	星形、环形	总线形、环形	总线形、环形
抗干扰	好	很好	极好

9.2　PLC的通信及连网

目前，国外PLC制造商不断推出新产品。西门子公司最初推出S5系列，然后推出S7系列；三菱公司开始是F系列，FX系列，后来是A系列（A1、A2、A2X）等。大趋势是功能越来越多，集成度越来越高，网络功能越来越强。特别是网络，因为连网是一个大潮流。

现在各种PLC都在发展自己的网络，一般从结构上有两种：一种在PLC模块上做了一个通信输出口，可以直接与计算机联接实现点对点通信（RS232方式连接）；另一种是通过多点联接（RS485方式连接），这适用于多层PLC。这方面，西门子的产品具有代表性，它具有自己的PROFIBUS协议的网络标准，现在已经被世界上绝大多数国家接受，几乎已经成为国际标准，获得了广泛的应用。目前网络是一个发展趋势，网络的控制中心一般有两台计算机，通过电缆与现场的PLC站相连，每个站就放在被控设备的附近，从设备到PLC站之间的电缆很短，从PLC站到控制中心只需一根电缆线，这样成本就大大降低了。

PLC网络化技术的发展有两个趋势：一方面，PLC网络系统已经不再是自成体系的封闭系统，而是迅速向开放式系统发展，各大品牌PLC除了形成自己各具特色的PLC网络系统，完成设备控制任务之外，还可以与上位计算机管理系统连网，实现信息交流，成为整个信息管理系统的一部分；另一方面，现场总线技术得到广泛的采用，PLC与其他安装在现场的智能化设备，比如智能化仪表、传感器、智能型电磁阀、智能型驱动执行机构等，通过一根传输介质（比如双绞线，同轴电缆，光缆）连接起来，并按照同一通信规约互相传输信息，由此构成一个现场工业控制网络。这种网络与单纯的PLC远程网络相比，配置更灵活，扩容更方便，造价更低，性能价格比更好，也更具开放意义。

PLC的通信包括PLC之间、PLC与上位机之间以及PLC与其他智能设备间的通信。PLC系统与通用计算机可以直接或通过通信处理单元、通信转接器相连构成网络，以实现信息的交换，并可构成“集中管理、分散控制”的分布式控制系统，满足工厂自动化系统发展的需要。各PLC系统或远程I/O模块按功能各自放置在生产现场分散控制，然后采用网络连接

构成集中管理的分布式网络系统。

PLC 常用通信接口标准如下：

1. RS232C

PLC 通信主要采用串行异步通信，其常用的串行通信接口标准有 RS232C、RS422A 和 RS485 等。RS232C 是美国电子工业协会 EIA 于 1969 年公布的通信协议，它的全称是数据终端设备（DTE）和数据通信设备（DCE）之间的接口。

RS232C 接口标准是目前计算机和 PLC 中最常用的一种串行通信接口。RS232C 采用负逻辑，用 -15 ~ -5V 表示逻辑“1”，用 5 ~ 15V 表示逻辑“0”。噪声容限为 2V，即要求接收器能识别低至 3V 的信号作为逻辑“0”，高到 -3V 的信号作为逻辑“1”。RS232C 只能进行一对一的通信，RS232C 可使用 9 针或 25 针的 D 型连接器，PLC 一般使用 9 针的连接器。RS232C 应用较广，但存在以下不足：

1）传输速率较低，最高传输速度速率为 20kbit/s。

2）传输距离短，最大通信距离为 15m。

3）接口的信号电平值较高，易损坏接口电路的芯片，又因为与逻辑电平不兼容，故需使用电平转换电路方能与 TTL 电路连接。

2. RS 422

针对 RS 232C 的不足，EIA 于 1977 年推出了串行通信标准 RS 499，它对 RS 232C 的电气特性做了改进。RS 422A 是 RS 499 的子集，由于 RS 422A 采用平衡驱动、差分接收电路，从根本上取消了信号地线，大大减少了地电平所带来的共模干扰。

RS 422 在最大传输速率 10Mbit/s 时，允许的最大通信距离为 12m；传输速率为 100kbit/s 时，最大通信距离为 1200m。一台驱动器可以连接 10 台接收器。

3. RS 485

RS 485 是 RS 422 的变形，RS 422A 是全双工的，两对平衡差分信号线分别用于发送和接收，所以采用 RS422 接口通信时最少需要 4 根线。RS 485 为半双工方式，只有一对平衡差分信号线，不能同时发送和接收，最少只需两根连线。

RS 485 的逻辑“1”以两线间的电压差为（2 ~ 6）V 表示，逻辑“0”以两线间的电压差为 -（2 ~ 6）V 表示。接口信号电平比 RS 232 C 降低了，就不易损坏接口电路的芯片，TTL 电平兼容，可方便与 TTL 电路连接。

由于 RS 485 接口具有良好的抗噪声干扰性、高传输速率（10Mbit/s）、长传输距离（1200m）和多站能力（最多 128 站）等优点，所以在工业控制中被广泛应用。

RS 422/RS485 接口一般采用使用 9 引脚的 D 型连接器。普通微型计算机一般不配备 RS 422 和 RS 485 接口，但工业控制微型计算机基本上都有配置。

9.3　PLC 与上位机的通信

9.3.1　PLC 与上位机的通信接口

PLC 与上位机之间的通信一般是通过 RS 232C 或 RS 422 常用接口协议实现的。其信息交换的方式为字符串方式，运用该通道，容易配置一个与外部计算机（如个人计算机和主

机）进行通信的系统。

PLC 与上位机一般采用 RS 232 接口协议的异步串行方式。图 9-1 所示是 C200HS 与上位机通信的接口连线。

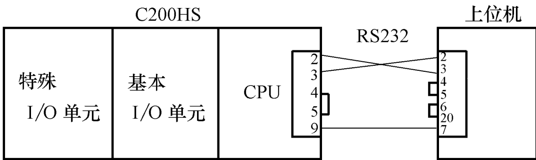


图 9-1　通信连接

PLC 与上位机的数据通信是以“帧”为单位进行的，帧的格式如图 9-2 和图 9-3 所示，命令帧由上位机发送给 PLC，应答帧为 PLC 接收到命令帧后自动向上位机发送的应答信号。



图 9-2　命令帧

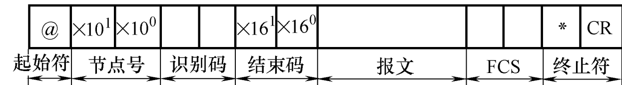


图 9-3　应答帧

在帧的传送格式中，“@”为起始符号；节点号为 PLC 的编号（00～31），由 PLC 的 DM6648、DM6653 设置，如果只有一个下位机 PLC，则其节点号为 00；识别码说明帧的功能，例如，RD 和 WD 分别为读和写 DM 数据区的内容；FCS 为 2 字符的帧的检查顺序码，即从帧起始到帧报文结束（FCS）之前数据异或运算后的结果，用来检查帧的传送结果；* 和 CR 为终止符，表明帧结束。例如，命令帧@00RD20100003FCS*CR 表示计算机要求读出 PLC 中 DM 数据区 D2010 开始的 3 个通道的数据内容，应答帧@00RD004A02344D001C FCSCR 中的结束码为“00”，表明通信有效，接收的 3 个通道的数据分别为 4A02、344D、001C（16 进制）。

在 PLC 与上位机通信之前，必须对 RS232 通信端口进行初始化，使两者按相同的格式通信。初始化参数包括比特率、起始位、数据位、停止位和奇偶校验位等。PLC 的 RS 232 通信口一般设置为 9600bit/s、1 个起始位、7 个数据位、2 个停止位、偶校验，因而只需对上位机的 RS232 端口进行初始化即可。

上位机的通信程序用 C 语言设计，C 语言提供了专门用于串行通信的函数 bioscom（ ），其格式为：

int bioscom（int cmd，char byte，int port）

port 为上位机的串行口代码，port＝0 为 COM1，port＝1 为 COM2；byte 为串行口初始化参数，当 byte＝0XFE 时，设置的串行口通信参数为：9600bit/s、1 个起始位、7 个数据位、2 个停止位、偶校验，与 C200HS 串行口的通信方式相同；cmd 为功能参数，cmd＝0 时初始化串行口，cmd＝1 时发送数据，cmd＝2 时接收数据，cmd＝3 时读串行口的当前状态。bioscom（ ）返回值为一个 2B 的整数，可以据此判别数据发送和接收是否成功：发送数据时的最高位为“1”，表示发送出错；接收数据时的高位字节不为“0”，表示通信有错；当高位字节为“0”时，其低位字节即为接收到的字符。

通信程序框图如图 9-4 所示。由于每次传送数据时，单帧的最大数据容量为 131 个字符，因此当传送的数据超过 131 个字符时，应当在传送前分成若干帧，分段传送，第一帧和中间帧的结尾处用定界符（回车符 CR）替代终止符（ * CR）。

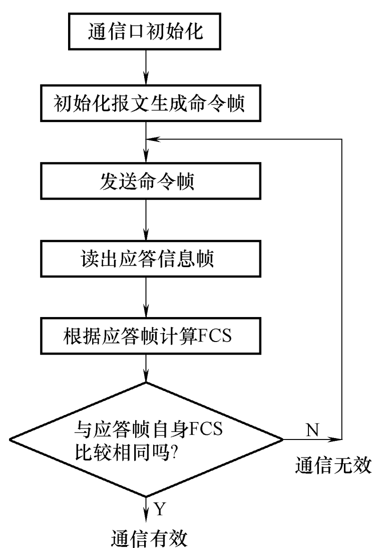


图 9-4　通信程序框图

9. 3. 2　PLC 与上位机的通信实现

PLC 作为一种高性能的控制装置，在分布式系统中得到了越来越广泛的应用。在这种控制方式中，上位监控机系统是其中重要的组成部分。PLC 可以多种方式如直接采用现有的组态监控软件与上位监控机通信，但针对小规模的控制系统，找到一种高性价比的通信方法具有积极的实际意义。本节就日本三菱公司生产的 FX2 系列 PLC 与 PC 通信方式的实现，从软、硬件两个方面来说明这个问题。

1. 通信装置的硬件描述

PLC 与 PC 之间实现通信，可使两者互补功能上的不足，PLC 用于控制方面既方便又可靠，而 PC 在图形显示、数据处理、打印报表以及中文显示等方面有很强的功能。因此，各 PLC 制造厂家纷纷开发了适用于本公司的各种型号 PLC 与 PC 通信的接口模块。三菱公司开发的 FX-232AW 接口模块用于 FX2 系列 PLC 与 PC 通信。还有与以太网连接的接口模块 AJ71E71、与 MAP 网连接的接口模块 AJ71M51-S1、与 FAIS MAP 网连接的接口模块 AJ71M51M1 等。不同的通信方式，有着不同的成本价格和不同的适用范围。在此介绍一种通过 PC 的 RS 232 口与 PLC 进行通信的实现方法。

FX2 系列 PLC 的编程接口采用 RS 422 协议，而计算机的串行口采用 RS 232 协议。因此，作为实现 PLC 计算机通信的接口电路，必须将 RS 422 协议转换成 RS 232 协议。

RS 232 协议与 RS 422 协议在信号的传送、逻辑电平方面均不相同。

RS 232 协议采用单端接收器和单端发送器，只用一根信号线来传送信息，并且根据该信号线上电平相对于公共的信号地电平的大小来决定逻辑的“1”（ - 15 ~ - 3V）和“0”(3 ~ 15V)。

RS 422 协议是一种以平衡方式传输的标准，即双端发送和双端接收，根据两条传输线之间的电位差值来决定逻辑状态。RS 422 电路由发送器、平衡连接电缆、电缆终端负载和接收器组成，它通过平衡发送器和差动接收器在逻辑电平和电位差之间进行转换（2V 表示“0”，- 2V 表示“1”)。

选用 MAXIM 公司的 MAX202 实现 RS 232 与 TTL 之间的电平转换。MAX202 内部有电压倍增电路和转换电路，仅需 5V 电源就可工作，使用十分方便；选用 MAX490 实现 RS 422 与 TTL 之间的转换，每片 MAX490 有一对发送器/接收器，由于通信采用全双工方式，故需两片 MAX490，另外只需外接 4 只电容即可。

PLC 的 RS 422 接口配接 DB-25 型连接器，而 PC 一般用 DB-9 型连接器。通信接口硬件图如图 9-5 所示。

将 RS 232 的 RS、CS 短接，这样对计算机发送数据来说，PLC 总是处于就绪状态。也就是说，计算机在任何时候都可以将数据送到 PLC 内，又由于 DR、ER 交叉连接，因此对计算机接收数据来说，必须等待至 PLC 处于准备就绪状态。

2. 通信装置的软件描述

（1）FX2 系列 PLC 与计算机之间的通信协议

FX2 系列 PLC 与计算机之间的通信采用 RS 232 协议，其传输速率固定为 9600bit/s，奇偶校验位采用偶校验，数据格式如图 9-6 所示，数据以帧为单位发送和接收。一个多字符由图 9-7 所示的五部分组成，STX 和 ETX 分别表示该字符帧的起始标志和结束标志。

FX2 系列 PLC 与计算机之间的通信是以主机发出的初始命令，PLC 对其作出响应的方式进行通信的。共有 0、1、7、8 这 4 种命令，上位机实现对 PLC 的读写和强行置位。通过 ENQ、ACK 和 NAK，上位机协调与 PLC 的通信应答。

（2）通信过程

采用 Bland C 编写主机与 PLC 的通信程序。首先必须对 COM1 口进行初始化，比特率为9600bit/s，奇偶校验位采用偶校验，7位有效数据。通信的初始化检测过程如图9-8所示。

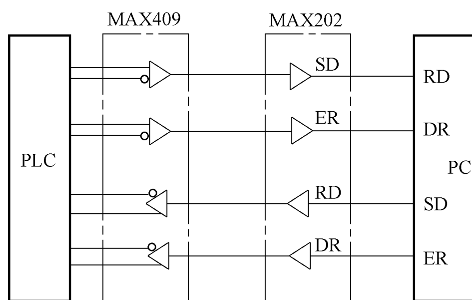


图 9-5　通信接口硬件图

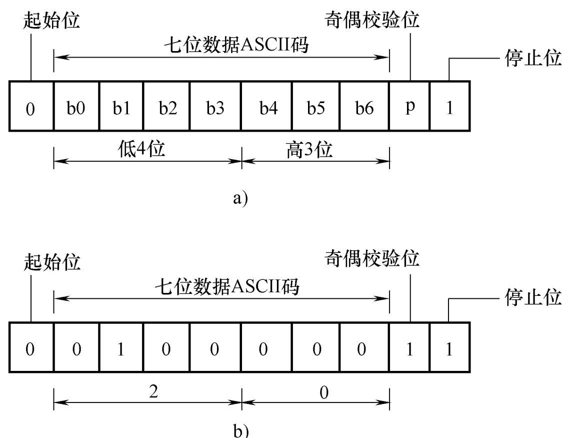


图 9-6　数据格式的规定

a）数据格式的规定　b）字符 STX（02H）格式

当计算机接收到来自 PLC 的应答字符 ACK 后，就可以进入数据通信了。通信的时序图如图 9-9 所示。

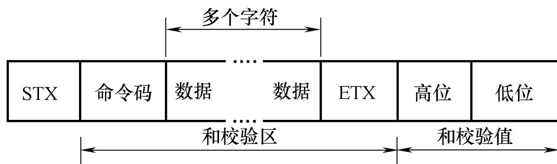


图 9-7　多字符帧的规定

计算机可对 PLC 内各软设备进行读、写和强制 ON/OFF 操作。除 PLC 的定时器和计数器的设定值采用常数，计算机不能对文件寄存器内的数据进行读写，FX2 系列 PLC 的所有开关量输入、输出以及各软件设备对计算机都是透明的。其操作时的多字符帧的格式如图 9-10 所示。

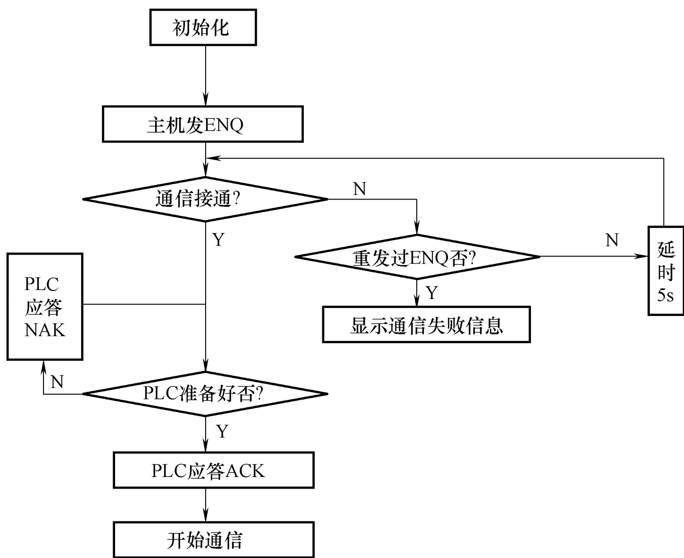


图 9-8　通信的初始化检测过程

但不同的操作在“多个字符”项内有所不同。例如，计算机对 PLC 的软设备 Y20 ~ Y37 进行读操作，查装置地址表为 00A2，读取 2B 数据。其状态如图 9-10 所示，为主机发出的命令格式，PLC 返回的信息。如传送的命令有错误，PLC 返回 NAK 信号，本次操作失败，重新进行。

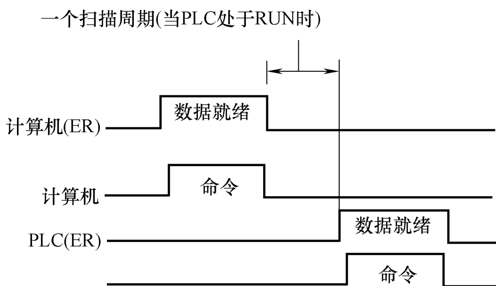


图 9-9　通信的时序图

为了保证主机与 PLC 的通信准确无误，上位机也必须按通信协议进行和校。如接收的信息有误，则重新读取。如重复 3 次仍不行，则显示错误信息。

Y37	Y36	Y35	Y34	Y33	Y32	Y31	Y30
0	0	1	1	0	1	0	1
Y27	Y26	Y25	Y24	Y23	Y22	Y21	Y20
1	0	0	0	0	1	0	0

输出线圈Y20～Y37

STX	第一字节		第二字节		ETX	16^1	17^0
02H	3	5	8	4	03H	D	7
	33H	35H	38H	34H		44H	37H

PLC应答的多字符帧

图 9-10　PLC 对计算机读操作应答的多字符帧

使用 C 语言很容易实现以上编程。主机还可向 PLC 写数据，进行单点的强制置位和复位。

9.3.3　PLC 与 PC 的通信

PC 具有较强的数据处理功能，配备着多种高级语言，若选择适当的操作系统，则可提

供优良的软件平台，开发各种应用系统，特别是动态画面显示等。随着工业 PC 的推出，PC 在工业现场运行的可靠性问题也得到了解决。用户普遍感到，把 PC 连入 PLC 应用系统可以带来一系列的好处。

1. PC 与 PLC 实现通信的意义

把 PC 连入 PLC 应用系统具有以下 4 方面的作用：

1）构成以 PC 为上位机，单台或多台 PLC 为下位机的小型集散系统，可用 PC 实现操作站功能。

2）在 PLC 应用系统中，把 PC 开发成简易工作站或者工业终端，可实现集中显示、集中报警功能。

3）把 PC 开发成 PLC 编程终端，可通过编程器接口接入 PLC，进行编程、调试及监控。

4）把 PC 开发成网间连接器，进行协议转换，可实现 PLC 与其他计算机网络的互连。

2. PC 与 PLC 实现通信的方法

把 PC 连入 PLC 应用系统是为了向用户提供诸如工艺流程图显示、动态数据画面显示、报表编制、趋势图生成、窗口技术以及生产管理等多种功能，为 PLC 应用系统提供良好的、物美价廉的人机界面。但这对用户的要求较高，用户必须做较多的开发工作才能实现 PC 与 PLC 的通信。

为了实现 PC 与 PLC 的通信，用户应当做如下工作：

1）判别 PC 上配置的通信口是否与要连入的 PLC 匹配，若不匹配，则增加通信模板。

2）要清楚 PLC 的通信协议，按照协议的规定及帧格式编写 PC 的通信程序。PLC 中配有通信机制，一般不需用户编程。若 PLC 厂家有 PLC 与 PC 的专用通信软件出售，则此项任务较容易完成。

3）选择适当的操作系统提供的软件平台，利用与 PLC 交换的数据编制用户要求的画面。

4）若要远程传送，则可通过调制解调器接入电话网。若要 PC 具有编程功能，则应配置编程软件。

3. PC 与 PLC 实现通信的条件

从原则上讲，PC 连入 PLC 网络并没有什么困难的。只要为 PC 配备该种 PLC 网专用的通信卡以及通信软件，按要求对通信卡进行初始化，并编制用户程序即可。用这种方法把 PC 连入 PLC 网络存在的惟一问题是价格问题。在 PC 上配上 PLC 制造厂生产的专用通信卡及专用通信软件常会使 PC 的价格数倍甚至十几倍地升高。

用户普遍感兴趣的问题是，能否利用 PC 中已普遍配有的异步串行通信适配器加上自己编写的通信程序把 PC 连入 PLC 网络。

带异步通信适配器的 PC 与 PLC 通信并不一定行得通，只有满足如下条件才能实现通信：

1）只有带有异步通信接口的 PLC 及采用异步方式通信的 PLC 网络才有可能与带异步通信适配器的 PC 互连。同时还要求双方采用的总线标准一致，即都是 RS 232C，或者都是 RS 422（RS 485），否则要通过“总线标准变换单元”变换之后才能互连。

2）要通过对双方的初始化，使比特率、数据位数、停止位数、奇偶校验都相同。

3）用户必须熟悉互连的 PLC 采用的通信协议，严格地按照协议规定为 PC 编写通信程

序。在 PLC 一方不需用户编写通信程序。

满足上述 3 个条件，PC 就可以与 PLC 互连通信；如果不能满足这些条件，则应配置专用网卡及通信软件实现互连。

4. PC 与 PLC 互连的结构形式

把带异步通信适配器的 PC 与 PLC 互连通信时通常采用如图 9-11 所示的两种结构形式：一种为点对点结构，PC 的 COM 口与 PLC 的编程器接口或其他异步通信口之间实现点对点连接，如图 9-11a 所示；另一种为多点结构，PC 与多台 PLC 共同连在同一条串行总线上，如图 9-11b所示。多点结构采用主从式存取控制方法，通常以 PC 为主站，多台 PLC 为从站，通过周期轮询进行通信管理。

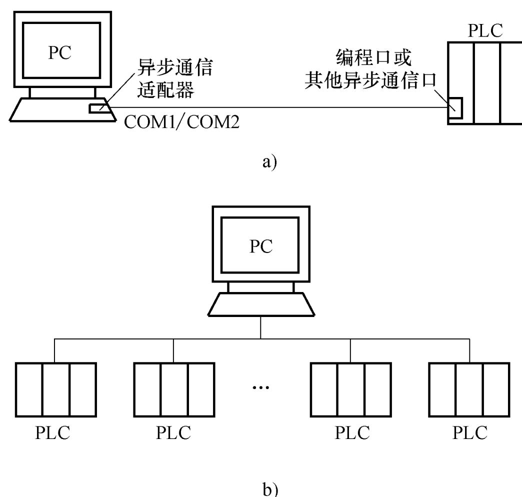


图 9-11　PC 与 PLC 互连的结构形式

5. PC 与 PLC 互连通信方式

目前 PC 与 PLC 互连通信方式主要有以下 3 种：

1）通过 PLC 开发商提供的系统协议和网络适配器，构成特定公司产品的内部网络，其通信协议不公开。互连通信必须使用开发商提供的上位组态软件，并采用支持相应协议的外设。这种方式其显示画面和功能往往难以满足不同用户的需要。

2）购买通用的上位组态软件，实现 PC 与 PLC 的通信。这种方式除了要增加系统投资外，其应用的灵活性也受到了一定的局限。

3）利用 PLC 厂商提供的标准通信口或由用户自定义的自由通信口实现 PC 与 PLC 互连通信。这种方式不需要增加投资，有较好的灵活性，特别适用于小规模控制系统。

如当 FX_{2N}系列 PLC 加上 FX_{2N}-485-BD 后，便能进行简单的 8 台 PLC 的连网通信，如图 9-12所示（可作为主站或从站）。

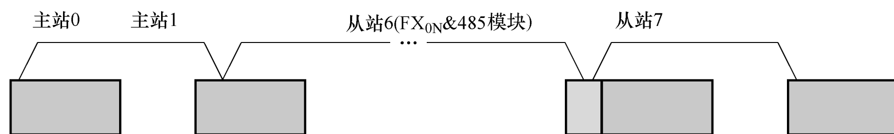


图 9-12　PLC 的连网通信

9.4　PLC 的典型网络

9.4.1　PLC 的网络

1. MELSEC NET 结构

MELSEC NET 是为三菱公司的 MELSEC PLC，尤其是 A 系列 PLC 配置的数据通信网络。

MELSEC NET 高速数据通信系统其传输速率为 1. 25Mbit/s ，其主控站通过光缆或同轴电缆可与 64 个本地站或远程 I/O 站进行数据通信，而每个从站又可以作为第 3 层数据通信系统的主控站，与这一层的 64 个从站或远程 I/O 站进行数据通信。

2. MELSEC NET/MINI 结构

MELSEC NET/MINI 利用配置不同 PLC 的通信模块，可将不同的控制器连成网络，如 AJ 71PT 32 利用光缆通信连接 A 系列 PLC，F-16NP/NT 用于和 F1、F2、FX 系列 PLC 通信，F-16NP-E 利用光缆与 A 系列 PLC 联机等。

MELSEC NET/MINI 网络特点包括：

1）快速 I/O 刷新。在主控站与远程 I/O 站之间，512 点 I/O 刷新只需 3 ~4ms。

2）远程 I/O 系统具有全面扩展能力。若用 MELSECNET/MINI 网络，可配置成多达 64 个远程 I/O 站的远程 I/O 系统，最多可控制 512 个 I/O 点。

3）远程 I/O 站 I/O 点的设置范围广。用 A0J2 时，可以是 8 点输入、8 点输出，32 点输入、24 点输出，28 点和 56 点 I/O 复合，128 个 I/O 点；用 A1N、A2N、A3N 时，则可按需配置 I/O 模块。

PLC 及其网络发展到现在，已经能够实现 NBS 或 ISO 模型要求的大部分功能，至少可以实现 4 级以下 NBS 模型或 ISO 模型功能。

PLC 要提供金字塔功能或者说要实现 NBS 或 ISO 模型要求的功能，采用单层子网显然是不行的。因为不同层所实现的功能不同，所承担的任务性质不同，导致它们对通信的要求也就不一样。上层所传送的主要是些生产管理信息，其通信报文长，每次传输的信息量大，要求通信的范围也比较广，但对通信实时性的要求却不高。而在底层传送的主要是一些过程数据及控制命令，其通信报文不长，每次通信量不大，通信距离也比较近，但对实时性及可靠性的要求却比较高。中间层对通信的要求正好居于两者之间。

由于各层对通信的要求相差甚远，如果采用单级子网，只配置一种通信协议，势必顾此失彼，无法满足所有各层对通信的要求。只有采用多级通信子网，构成复合型拓扑结构，在不同级别的子网中配置不同的通信协议，才能满足各层对通信的不同要求。

PLC 网络的分级与生产金字塔的分层不是一一对应的关系，相邻几层的功能，若对通信要求相近，则可合并，由一级子网去实现。采用多级复合结构不仅使通信具有适应性，而且具有良好的可扩展性，用户可以根据投资情况及生产的发展，从单台 PLC 到网络、从底层向高层逐步扩展。

三菱公司 PLC 网络继承了传统使用的 MELSEC 网络，并使其在性能、功能、使用简便性等方面更胜一筹。Q 系列 PLC 提供层次清晰的 3 层网络，针对各种用途提供最合适的网络产品，如图 9-13 所示。

1）信息层/以太网（Ethernet）：信息层为网络系统中的最高层，主要是在 PLC、设备控制器以及生产管理用 PC 之间传输生产管理信息、质量管理信息及设备的运转情况等数据，信息层使用最普遍使用的以太网。它不仅能够连接 Windows 系统的 PC、UNIX 系统的工作站等，而且还能连接各种 FA 设备。Q 系列 PLC 的以太网模块具有了日益普及的因特网电子邮件收发功能，使用户无论在世界的任何地方都可以方便地收发生产信息邮件，构筑远程监视管理系统。同时，利用因特网的 FTP（文件传输协议）服务器功能及 MELSEC 专用协

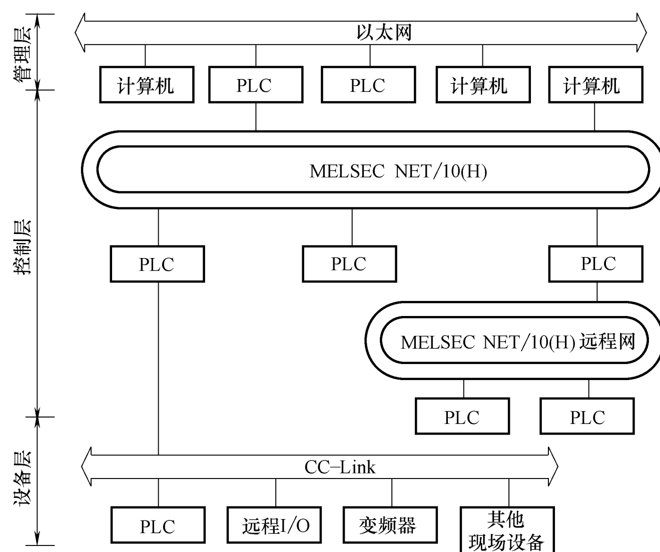


图 9-13　三菱公司的 PLC 网络

议可以很容易地实现程序的上传/下载和信息地传输。

2）控制层/MELSEC NET/10（H）：它是整个网络系统的中间层，而且是 PLC、CNC 等控制设备之间方便且高速地进行处理数据互传的控制网络。作为 MELSEC 控制网络的 MELSEC NET/10，以它良好的实时性、简单的网络设定、无程序的网络数据共享概念，以及冗余回路等特点获得了很高的市场评价，被采用的设备台数在日本达到最高，在世界上也是屈指可数的。而 MELSEC NET/H 不仅继承了 MELSEC NET/10 的优点，还使网络的实时性更好、数据容量更大，进一步适应了市场的需要。但目前 MELSEC NET/H 只有 Q 系列 PLC 才可使用。

3）设备层/现场总线 CC-Link：设备层是把 PLC 等控制设备和传感器以及驱动设备连接起来的现场网络，为整个网络系统最低层的网络。采用 CC-Link 现场总线连接，布线数量大大减少，提高了系统可维护性。而且，不只是 ON/OFF 等开关量的数据，它还可连接 ID 系统、条形码阅读器、变频器、人机界面等智能化设备，从完成各种数据的通信到终端生产信息的管理均可实现，加上对机器动作状态的集中管理，使维修保养的工作效率也大有提高。在 Q 系列 PLC 中使用，CC-Link 的功能更好，而且使用更简便。

在三菱公司的 PLC 网络中进行通信时，不会感觉到有网络种类的差别和间断，可进行跨网络间的数据通信和程序的远程监控、修改、调试等工作，而无需考虑网络的层次和类型。

MELSEC NET/H 和 CC-Link 使用循环通信的方式，周期性自动地收发信息，不需要专门的数据通信程序，只需简单的参数设定即可。MELSEC NET/H 和 CC-Link 是使用广播方式进行循环通信发送和接收的，这样就可做到网络上的数据共享。

对于 Q 系列 PLC 使用的以太网、MELSEC NET/H、CC-Link 网络，可以在 GXDeveloper 软件画面上设定网络参数以及各种功能，简单方便。

另外，Q 系列 PLC 除了拥有上面所提到的网络之外，还可支持 PROFIBUS、Modbus、

DeviceNet、ASi 等其他厂商的网络，还可进行 RS 232/RS 422/RS 485 等协议的串行通信，通过数据专线、电话线进行数据传送等多种通信方式。

9.4.2 PLC 的远程 I/O 通信

FX 系列 PLC 除了可以同 A 系列 PLC 以及在 FX 系列 PLC 产品之间进行通信外，还能实现远程 I/O 通信以达到节省接线的优点。FX 系列 PLC 提供了各种模块，用以连接开放式网络 CC-Link 以及 CC-Link/LT，可实现数据通信并节省配线。

1. CC-Link（同 A. QnA 之间的通信）

最适合生产线设备控制的网络 CC-Link，如图 9-14所示。

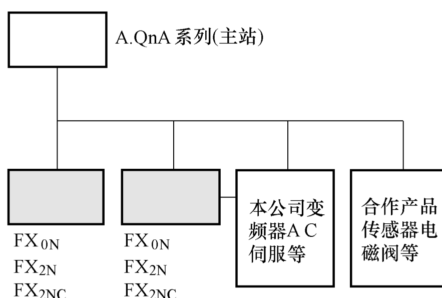


图 9-14　CC-Link 网络

将 FX 系列作为 CC-Link 的远程设备站，连接所需设备 FX_{2N}-32CCT，可以进行 PLC 间的数据通信或用于计算机的数据通信；还可将功能扩展板或特殊适配器装在 PLC 上，进行通信。

2. 简易PLC 间连接（FX 系列 n: n 的通信）

可以在 FX 系列 PLC 间进行通信操作，如图 9-15 所示。

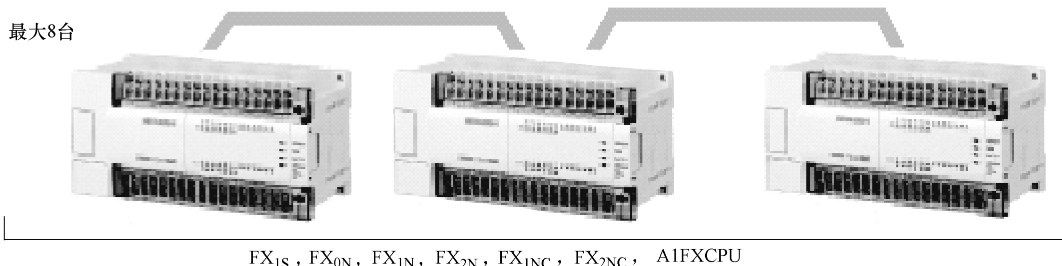


图 9-15　简易 PLC 间连接

最多能够连接 8 台 PLC，所需设备：FX_{0N}-485ADP，FX_{2N}-485-BD，FX_{1N}-485-BD。

3. 计算机连接（与计算机的1: n 或1: 1 通信）

可以在计算机和 PLC 间进行通信操作，如图 9-16 所示。

能将 FX 系列 PLC 作为计算机的子站连按所需设备（RS485 系统为 1:n，RS232 系统为 1:1 连接）为 FX_{0N}-485ADP、FX_{1N}-485-BD、FX_{2N}-485-BD、FX-485PC-IF（RS 485/RS-232 转换）、FX_{0N}-232ADP、FX_{1N}-232-BD、FX_{2N}-232-BD，支持计算机连接的软件 FX-PCS-LNK/WIN，能够同微软公司的 Excel 软件等进行数据的读取/写入操作，附带通信用函数。

4. 并联链接（FX 系列1: 1 的通信）

可以在基本单元 2 台间进行通讯操作，如图 9-17 所示。

连接 2 台 FX 系列 PLC 的基本单元所需设备为 FX_{0N}-485ADP 和 FX_{2N}-485-BD。

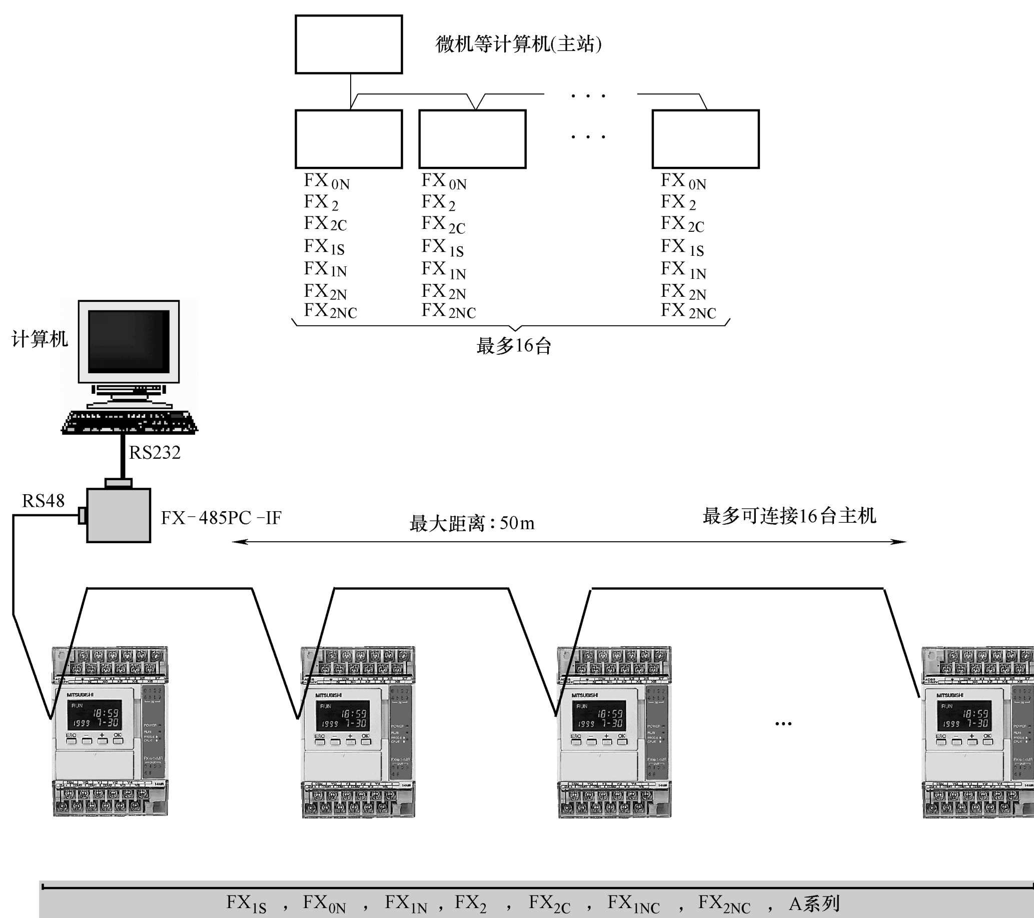


图 9-16　计算机链接

5. 无顺序通信

FX 系列 PLC 与 RS 232C/RS 485 设备之间的 1∶1 通信如图 9-18 所示。

将 FX 系列 PLC 同具有 RS 232C/RS 485 接口的设备进行连接，所需设备包括：FX_{0N}-232ADP，FX_{0N}-485ADP，FX_{2N}-232-BD，FX_{2N}-485-BD，FX_{1N}-232-BD，FX_{1N}-485-BD，FX_{2N}-232-IF。

6. MELSEC-I/OLink

FX 系列 PLC 和 I/O 单元的通信如图 9-19 所示。

将 FX 系列 PLC 作为主站，同 MELSEC-A 系列的远程 I/O 连接，所需设备为 FX_{2N}-16LNK-M。

7. 与外部设备的通信

FX 系列 PLC 同显示器或者编程软件的通信如图 9-20 所示。

通过安装特殊适配器或功能扩展板，能够连接 2 台 PLC 外部设备，所需设备包括：FX_{1N}-422-BD，FX_{2N}-422-BD，FX_{1N}-232-BD，FX_{2N}-232-BD，FX_{0N}-232-ADP 等，FX_{2N} 系列 PLC 常用设备通信如表 9-2 所示。

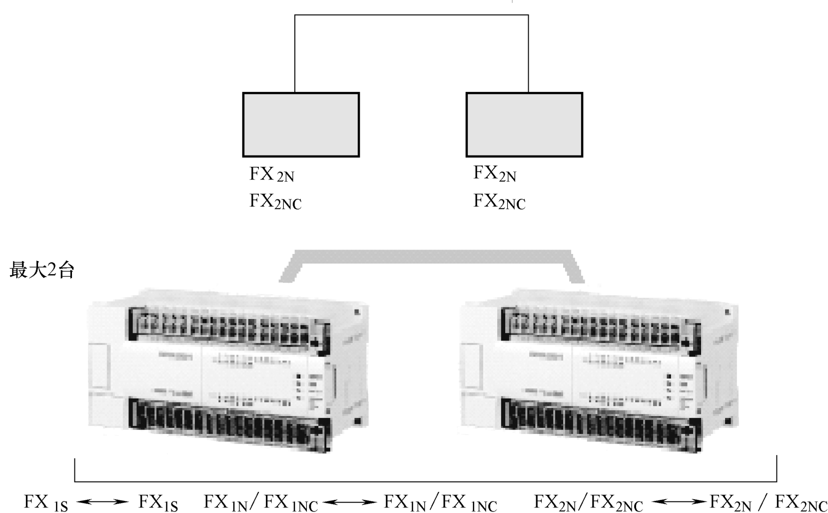


图 9-17　并联连接

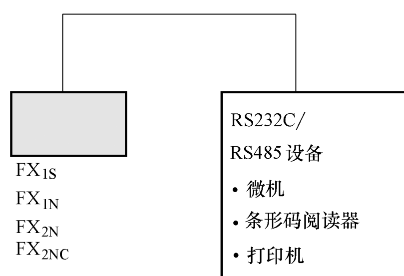
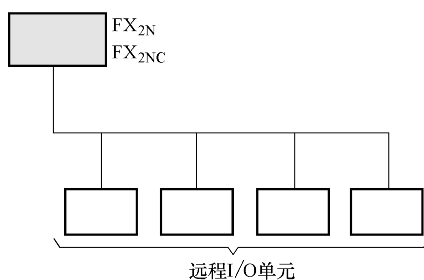


图 9-18　无顺序通信



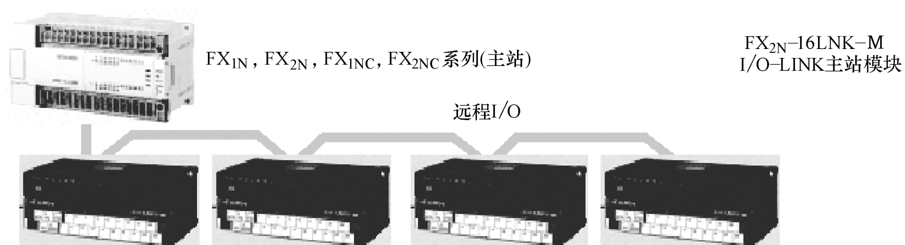


图 9-19　MELSEC-I/OLink 通信

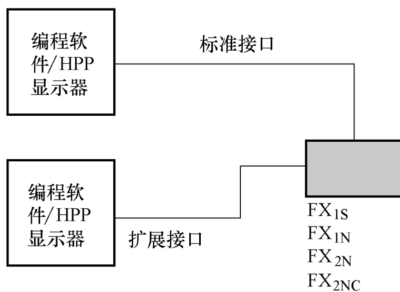


图 9-20　与外部设备的通信

表 9-2　FX_{2N}系列 PLC 常用设备通信一览表

类型	型　　号	主 要 用 途	对应通信功能					连接台数
			简易 PC 间链接	并行连接	计算机连接	无协议通信	外围设备通信	
功能扩展板	FX_{2N}-232-BD	与计算机及其他配备 RS232 接口的设备连接	×	×	○	○	○	1 台
	FX_{2N}-485-BD	PLC 间 n:n 接口；并联链接 1:1 接口；以计算机为主机的专用协议通信用接口	○	○	○	○	×	1 台（见图 9-21）
	FX_{2N}-422-BD	扩展用于与外围设备连接用	×	×	×	×	○	1 台
	FX_{2N}-CNV-BD	与适配器配合实现端口转换	—	—	—	—	—	1 台（见图 9-22）
特殊适配器	FX_{0N}-232ADP	与计算机及其他配备 RS232 接口的设备连接	×	×	○	○	○	1 台
	FX_{0N}-485ADP	PLC 间 n:n 接口；并联链接的 1:1 接口；以计算机为主机的专用协议通信用接口	○	○	○	○	×	1 台（见图 9-23）
通信模块	FX_{2N}-232-IF	作为特殊功能模块扩展的 RS232 通信口	×	×	×	○	×	最多 8 台（见图 9-24）
	FX-485 PC-IF	将 RS485 信号转换为计算机所需的 RS232 信号	×	×	○	×	×	

注：×为不可以；○为可以。

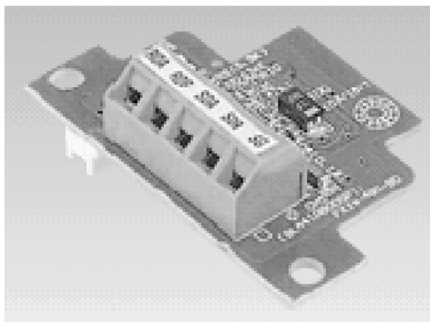


图 9-21　FX_{2N}-485-BD

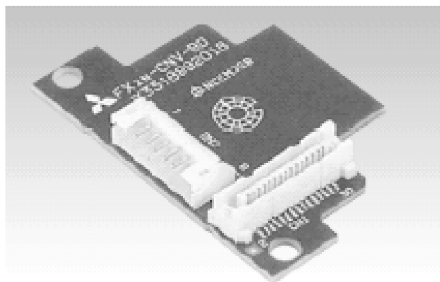


图 9-22　FX_{2N}-CNV-BD

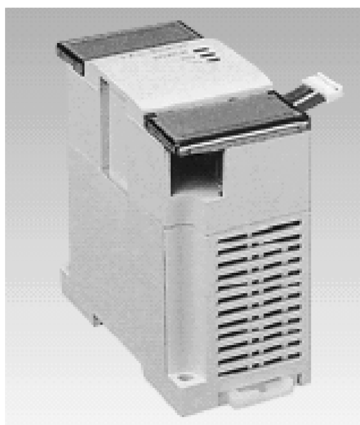

图 9-23　FX_{0N}-485ADP


图 9-24　FX_{2N}-232-IF

第 10 章　PLC 编程器与编程软件使用方法

10.1　PLC 编程器及其使用

编程器用来对 PLC 进行编程、发出命令和监视 PLC 的工作状态等。它通过通信端口与 PLC 的 CPU 连接，完成人机对话连接。

编程器的工作方式有下列 3 种：

1）编程方式：编程器在这种方式下可以把用户程序送入 PLC 的内部存储器，也可对原有的程序进行显示、修改、插入、删除等编辑操作。

2）命令方式：此方式可对 PLC 发出各种命令，如向 PLC 发出运行、暂停、出错复位等命令。

3）监视方式：此方式可对 PLC 进行检索，观察各个 I/O 点的通、断状态和内部线圈、计数器、定时器、寄存器的工作状态及当前值，也可跟踪程序的运行过程对故障进行监测等。

目前常用的编程器有手持式简易编程器、便携式图形编程器和微型计算机等。

1. 手持式简易编程器

不同品牌、不同型号的 PLC 配备不同型号的专用手持式简易编程器，相互之间互不通用。它们不能直接输入和编辑梯形图程序，只能输入和编辑指令表程序。

手持式简易编程器的体积小、价格便宜，一般用电缆与 PLC 连接，常用来给小型 PLC 编程。它用于系统的现场调试和维修比较方便。

三菱公司 FX 系列 PLC 的手持式简易编程器为 FX-10P-E 或为 FX-20P-E，OMRON C 系列 PLC 的手持式简易编程器为 PRO15，SIEMENS U 系列 S5PLC 的手持式简易编程器为 PG615，NAIS FP 系列 PLC 的手持式简易编程器为 FP PROGRAMMER Ⅱ。

图 10-1 所示是 FX 系列 PLC 与编程器的连接。

2. 便携式图形编程器

便携式图形编程器可直接进行梯形图程序的编制，不同品牌的 PLC，其便携式图形编程器相互之间不通用。便携式图形编程器较手持式简易编程器体积大，其优点是显示屏大，一屏可显示多行梯形图；但由于性价比不高，使它的发展和应用受到了很大的限制。

3. 微型计算机

用微型计算机编程是最直观、功能最强大的一种编程方式。在微型计算机上可以直接用梯形图编程或用指令编程，以及依据机械动作的流程进行程序设计的 SFC（顺序功能图）方式进行编程，而且这些程序可相互变换。

这种方式的主要优点是用户可以使用现有的计算机、便携式计算机配上编程软件，也很适于在现场调试程序。对于不同厂家和型号的 PLC，只需要使用相应的编程软件就可以了。

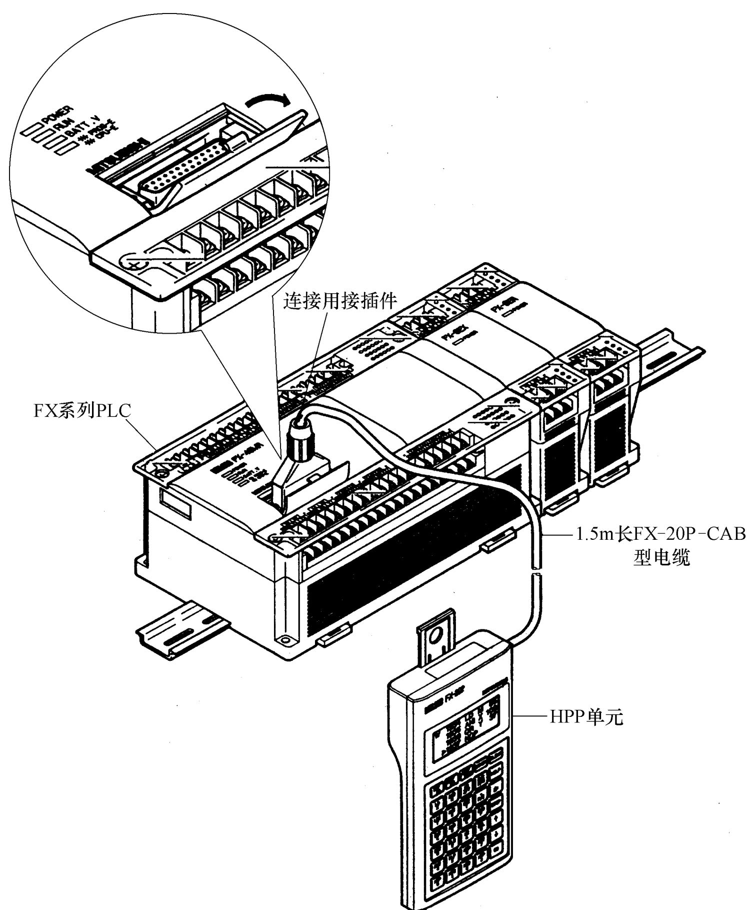


图 10-1　FX 系列 PLC 与编程器的连接

三菱 FX 系列 PLC 的常用编程软件为 SWOPC-FXGP/WIN-C，欧姆龙 C 系列 PLC 的常用编程软件为 SYSMAC-CPT，NAIS FP 系列 PLC 的常用编程软件为 FPWIN GR，西门子 S7 系列 PLC 的常用编程软件为 STEP 7 等。

FX 系列 PLC 的编程设备装置是兼容的，可使用 FX-10P-E 或 FX-20P-E 型手持式简易编程器来编程，也可使用计算机软件来编程，编程器主要由键盘、显示器组成。编程器分简易型和智能型两类：小型 PLC 常用简易编程器，大、中型 PLC 多用智能编程器。利用编程器可检查、修改、调试用户程序和在线监视 PLC 工作状况。现在许多 PLC 和计算机连接，并利用专用的工具软件进行编程或监控。

FX 系列 PLC 可使用 FX-10P-E 或 FX-20P-E 型手持式简易编程器来编程，FX-10P-E 为 2 行 LCD 显示，FX-20P-E 为 4 行 LCD 显示，如图 10-2 所示。

FX-20P-E 型手持式简易编程器（Handy Programming Panel，HPP）适用于 FX 系列 PLC，也可以通过转换器 FX-20P-E-FKIT 用于 F 系列 PLC。FX-20P-E 编程器有联机（On-line）和脱机（Offline）两种操作方式。联机方式是编程器对 PLC 的用户程序存储器进行直接操作、存取的方法。在写入程序时，若 PLC 内未装 EEPROM，则程序写入 PLC 内部

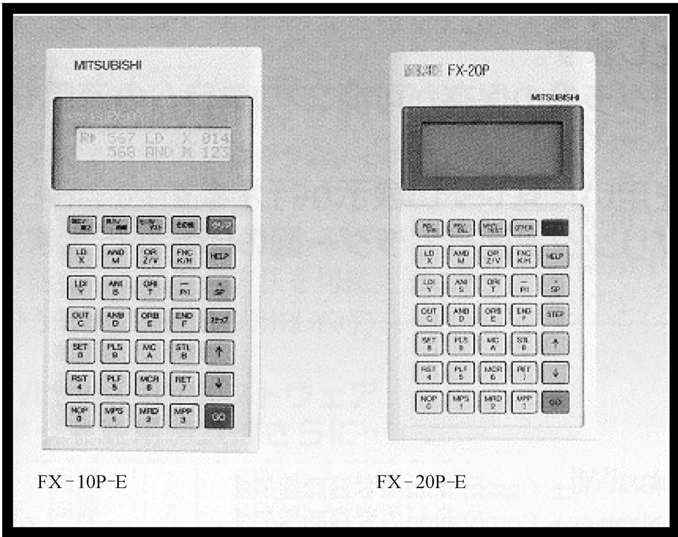


图 10-2　FX-10P-E、FX-20P-E 型手持式简易编程器

RAM；若 PLC 内装有 EEPROM 存储器，程序写入该存储器。脱机方式是对 HPP 内部存储器的存取方式。编制的程序先写入 HPP 内部的 RAM，再成批地传送到 PLC 的存储器中，也可以在 HPP 和 ROM 写入器之间进行程序传送。

4. FX-10P-E 手持式编程器的使用

FX-10P-E 手持式编程器（简称为 HPP）可与三菱 FX 系列 PLC 相连，以便向 PLC 写入程序或监控 PLC 的操作状态。

它的功能如图 10-3 所示。

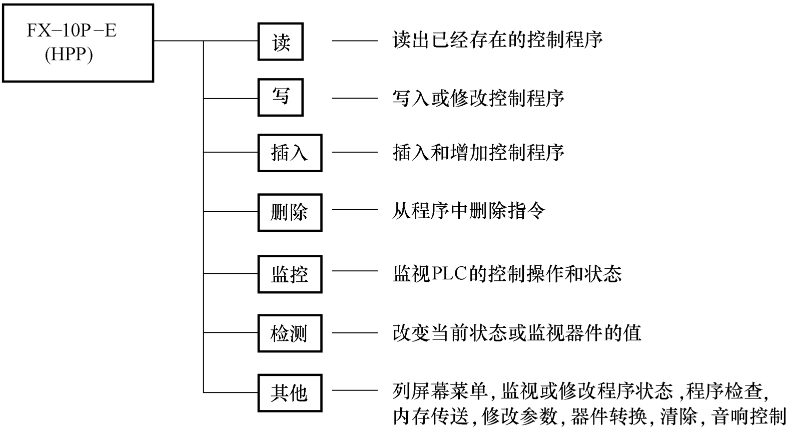


图 10-3　FX-10P-E 手持式编程器功能图

FX-10P-E 手持式编程器是由一个 2 ×16 的液晶显示器屏及一个含有 5 ×7 橡胶状的键盘等组成，该键盘中有功能键、指令键、符号键和数字键，其面板布置如图 10-4 所示。

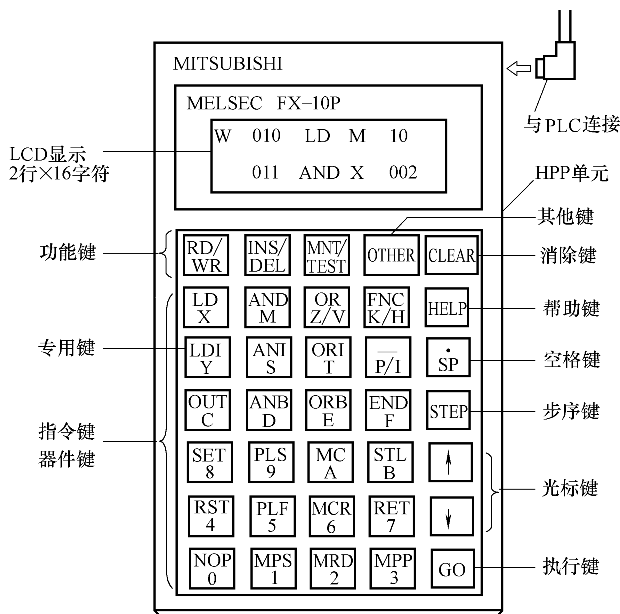


图 10-4　FX-10P-E 手持式编程器面板布置

5. FX-20P-E 手持编程器的使用

FX-20P-E 手持式编程器可以用于 FX 系列 PLC，也可以通过转换器 FX-20P-E-FKIT 用于 F1、F2 系列 PLC。

FX-20P-E 手持编程器由液晶显示屏（16 字符 ×4 行，带后照明）、ROM 写入器接口、存储器卡盒接口及由功能键、指令键、元件符号键、数字键等 5 ×7 键盘组成。显示屏上显示的画面如图 10-5 所示。

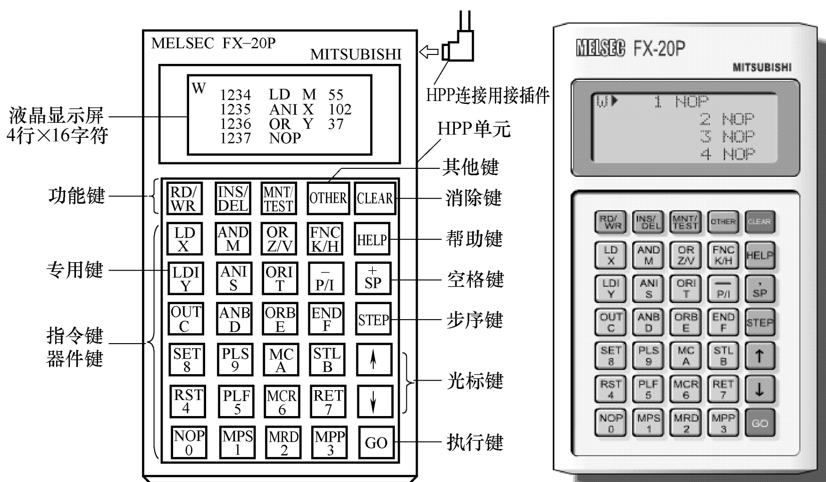


图 10-5　FX-20P-E 手持编程器

编程器的面板键盘上共有 35 个键，各键作用说明如下：

（1）功能键

［RD/WR］——读出/写入，R—程序读出，W—程序写入。

［INS/DEL］——插入/删除，I—程序插入，D—程序删除。

［MNT/TEST］——监视/测试，M—监视，T—测试。

（2）执行键

［GO］——用于指令的确认、执行、显示画面和检索。

（3）清除键

［CLEAR］——如在按执行键［GO］前按此键，则清除键入的数据。该键也可以用于清除显示屏上的错误信息或恢复原来的画面。

（4）其他键

［OTHER］——在任何状态下按此键，将显示方式项目菜单。安装 ROM 写入模块时，在脱机方式项目上进行项目选择。

（5）帮助键

［HELP］——显示应用指令一览表。在监视方式下，进行十进制数和十六进制数的转换。

（6）空格键

［SP］——输入指令时，用此键指定元件号和常数。

（7）步序键

［STEP］——设定步序号

（8）光标键

［↑］、［↓］——移动光标和提示符；

指定当前元件的前一个或后一个地址号的元件；作行滚动。

（9）指令键、元件符号键和数字键

这些键都是复用键，每个键的上面为指令符号，下面为元件符号或者数字。上、下部的功能根据当前所执行的操作自动进行切换，其中下面的元件符号 Z/V、K/H、P/I 又是交替使用，反复按键时交替切换。液晶显示屏左上角的黑三角提示符是功能方式说明，如图10-6所示。

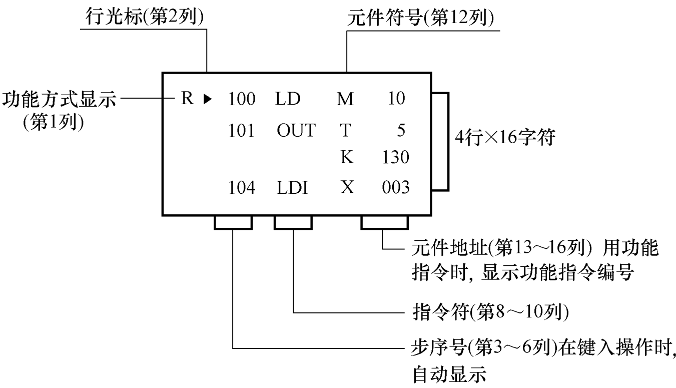


图 10-6　FX-20P-E 手持编程器功能显示

在图 10-6 中，R（Read）：读出；W（Write）：写入；I（Insert）：插入；D（Delete）：删除；M（Monitor）：监视；T（Test）：测试。它在编程时显示指令（程序的地址、指令、数据）；在运行监控时，显示元器件工作状态。

编程器的基本操作过程如下：

程序写入前要将 PLC 内部原有程序清除，其操作方法如下：

RD/WR→RD/WR→NOP→A→GO→

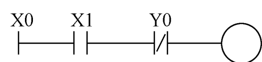
1）基本指令（包括步进指令）的写入分 3 种情况：

①［写入功能］→指令→GO 只有指令助记符的指令。

②［写入功能］→指令→元件符号→元件号→GO 有指令和一个操作元件的指令。

③［写入功能］→指令→元件符号→SP→元件符号→元件号→GO 有指令和两个操作元件的指令。

例如，要写入如下程序：



可按［功能写入］→LD→X→0→GO→ANI→X→1→GO→OUT→Y→0→GO。

此时显示屏将显示如下界面：

W	0	LD	X000
	1	ANI	X001
	2	OUT	Y000
▲	3	NOP	

2）功能指令写入无须使用指令键，只要按 FN 后，再按功能指令号即可。其两种操作方法如图 10-7 所示。

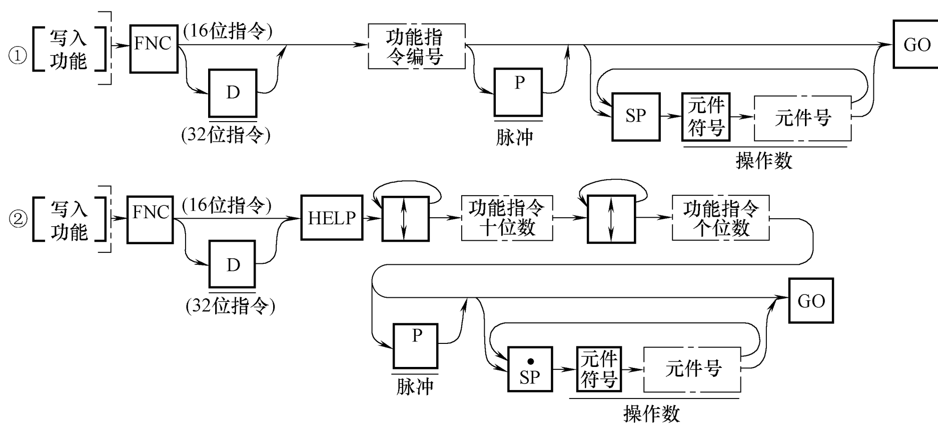


图 10-7　功能指令输入的基本操作

［写入功能］→LD→M→8→0→0→0→GO

→FNC→1→9→SP→K→2→X→1→0→SP→D→0→GO。

此时显示屏显示：

W	LD	M8000
	BIN	19
	K2X	010
▲	D	0

3）元件的写入。在基本指令和功能指令输入中，往往要涉及元件的写入。例如要写入功能指令 MOV　K1　X10　ZD1 时，变址存储器 Z 附加在元件号上一起输入，其操作方法是：［写入功能］→FNC→1→2→SP→K→1→X→1→0→Z→SP→D→1→GO。

编好程序后，再根据主机型号选用相应型号的连接电缆。例如，FX2 系列 PLC 可选用 FX-20P-CAB 电缆，如图 10-8 所示。根据不同编程方式需要，还可以选用 ROM 写入器、存储器卡盒等其他模块，如图 10-8 和图 10-9 所示。

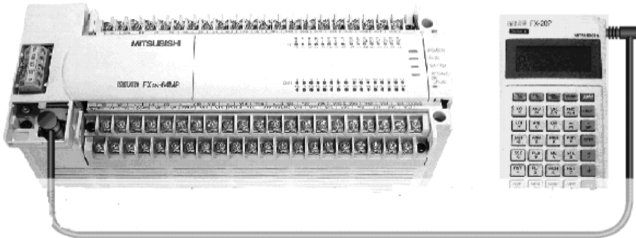


图 10-8　选择 FX-20P-CAB 连接电缆将编程器中的程序传送到 PLC 中

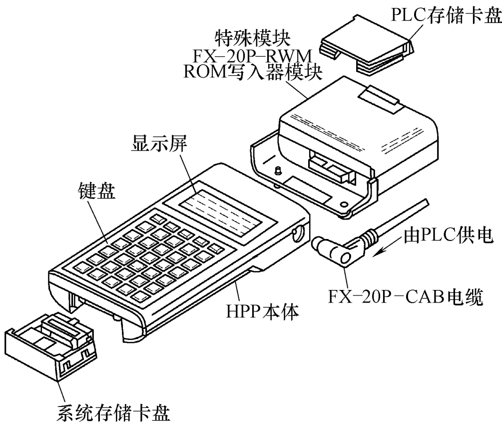


图 10-9　把编程器中程序读入到 ROM 写入器、存储器卡盒等模块中

FX-20P、FX-10P 手持式编程器功能比较见表 10-1。

表 10-1　FX-20P、FX-10P 手持式编程器功能比较表

项　　目	FX-20P、FX-10P 功能	
	FX-10P	FX-20P
编程功能	以指令表形式读出写入，插入、删除、软元件监控、测试程序、检查等	

（续）

项　　目	FX-20P、FX-10P 功能	
	FX-10P	FX-20P
显示能力	16 个字符 2 行	16 个字符 4 行带背光灯
程序编辑方法	直接编辑 PLC 内存	直接编辑 PLC 内存或者从 FX-20P 的内置内存中读出，然后离线编辑
程序保持功能	无	连接在 PLC 上 1h 可以最长保持 3 天
选件 EEPROM 写入	可以写入 PLC 上安装的 EEPROM 存储器中	可以写入 PLC 上安装的 EEPROM 存储器中，通过安装选件 ROM 写入器 FX-20P-RWM 可执行写入
选件 EPROM 写入	不可以	通过安装选件 ROM 写入器 FX-20P-RWM 可执行写入
存储程序	不可以	通过安装电源模块 FX-20P-ADP 选件，即使没有 PLC 也可以编写程序
对应的 PLC	所有 FX PLC	所有 FX PLC，通过安装选件（FX-20P-FKIT）可以支持 F1、F2 系列
附件	FX-20P-CAB0 型 PLC 连接电缆 1.5m	
备注	连接在 FX1N、FX2N、FX2NC PLC 上时请准备选件	

10.2　FXGPWIN 编程软件的使用

PLC 的程序输入通过手持式简易编程器、专用编程器或计算机完成。手持式简易编程器体积小，携带方便，在现场调试时优越性强，但在程序输入、阅读、分析时较繁锁；而专用编程器价格太贵，通用性差；计算机编程在教学中优势较大，且其通信更为方便，因此也就有了相应的计算机平台上的编程软件和专用通信模块。本节将重点介绍三菱 FX 系列 PLC 编程软件的使用和操作。

10.2.1　FXGPWIN 编程软件的使用概述

三菱公司 FX 系列 PLC 编程软件名称为 FXGPWIN，这里介绍的版本为 SW0PC-FXGP/WIN-CVersion3.00 Copyright（C）1996 MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION。其具体应用说明如下：

FXGPWIN 编程软件对 FX_0/FX_{0S}、FX_{1S}、FX_{1N}、FX_{0N}、FX_1、FX_{2N}/FX_{2NC} 和 FX（FX_2/FX_{2C}）系列三菱 PLC 编程及其他操作，图 10-10 所示为软件的文件组成。

1. 进入FXGPWIN 的编程环境

双击桌面 FXGPWIN 图标或按 Tab 键选择到图标 FXGPWIN，即可进入编程环境。

2. 编程环境（见图10-11）

3. 编写新程序

新建文件，如图 10-12 所示。



图 10-10　软件的文件组成



图 10-11　编程环境



图 10-12　新建文件

出现 PLC 选型界面，如图 10-13 所示。

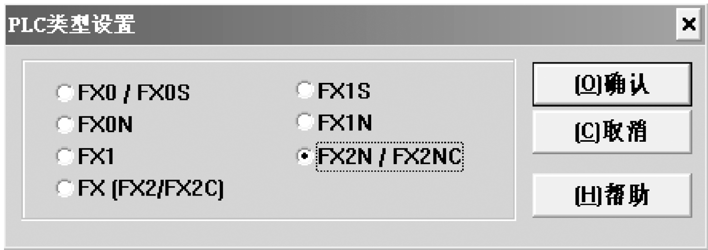


图 10-13　PLC 选型界面

选择好 PLC 型号后按确认键即可进入编辑界面，如图 10-14 所示，在视图中可以切换梯形图、指令表等。



图 10-14　编辑界面

建立好文件后就可以在其中编写程序了。

4. 程序的保存

在“文件”菜单下点击“另存为”即可。

5. PLC 程序上载传入PLC

当编辑好程序后可以就可以向 PLC 上载程序，如图 10-15 所示。其方法是：首先必须正确连接好编程电缆，其次是 PLC 通上电源（POWER）指示灯亮，打开菜单“PLC”⟶“传送”⟶“写出”并确认。

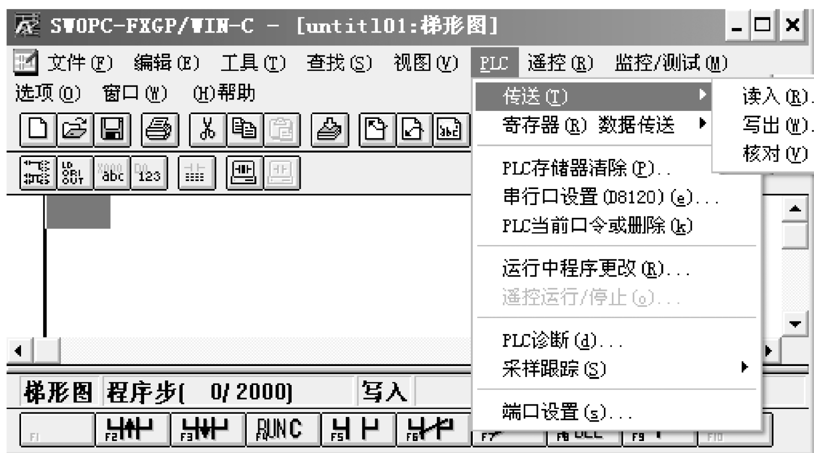


图 10-15　PLC 程序上载

出现程序写入步数范围选择框图，如图 10-16 所示，确认后即可。

6. PLC 程序下载

与 PLC 程序上载方法一样，在上述操作中选择“读入”，其他操作不变。

7. 程序打开

打开菜单“文件”⟶“打开”，出现界面，如图 10-17 所示，选择要打开的程序，确

定即可。

8. 退出主程序

利用“ALT”+“F4”或点击文件菜单下的“退出”即可。



图 10-16　步数范围选择

10.2.2　程序的编写

1. 编程语言的选择

FXGPWIN 软件提供 3 种编程语言，分别为梯形图、指令表、SFC。打开“视图”菜单，选择对应的编程语言。



图 10-17　程序的打开

2. 梯形图编辑时（见图 10-18）

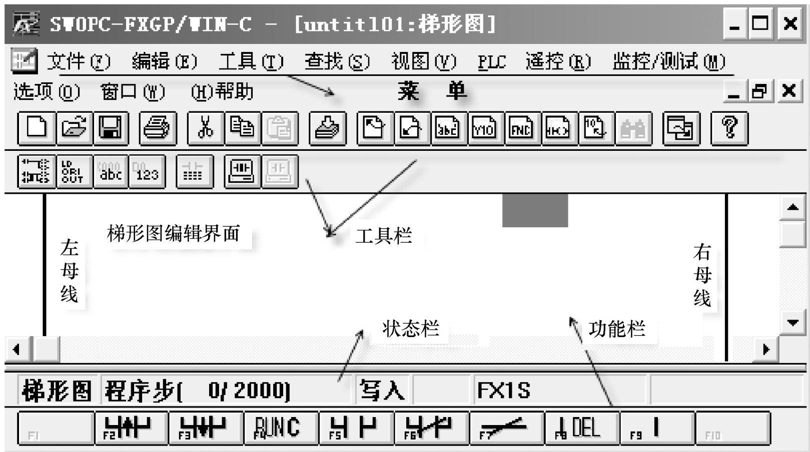


图 10-18　梯形图编辑

3. 编写程序

编写程序可通过功能栏来选择，也可以直接写指令进行程序编写，主要是要熟悉菜单下各功能子菜单。

4. 梯形图编写

梯形图编写需进行转换，在工具菜单下选择或按“F4”键，转换完毕即可进行上载调试。这里应注意端口设置，如图 10-19 所示。

5. 程序的检查

点击“选项”菜单下的“程序检查”，即进入程序检查环境，如图 10-20 所示，可检查语法错误、双线圈、电路错误。



图 10-19　端口设置

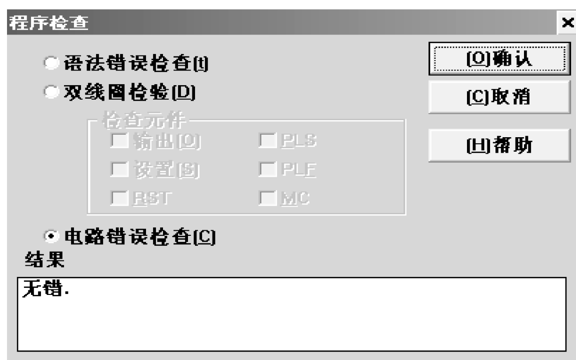


图 10-20　程序检查

10.2.3　软元件的监控和强制执行

在 FXGPWIN 操作环境下，可以监控各软元件的状态和强制执行输出等功能。

元件监控功能界面如图 10-21 所示。



图 10-21　元件监控功能界面

强制输出功能界面如图 10-22 所示。

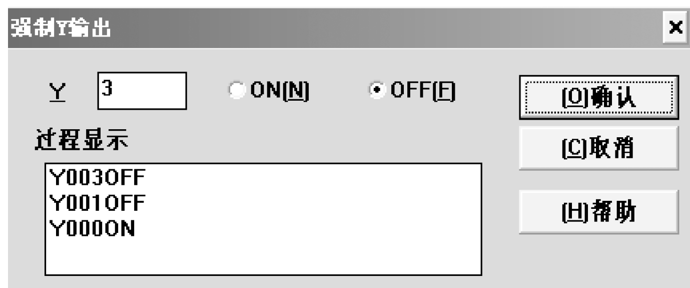


图 10-22　强制输出功能界面

强制 ON/OFF 功能界面如图 10-23 所示。



图 10-23　强制 ON/OFF 功能界面

以上各功能的实现主要在“监控/测试”菜单中完成；其他各功能在操作过程中可在帮助菜单中熟悉，如图 10-24 所示。

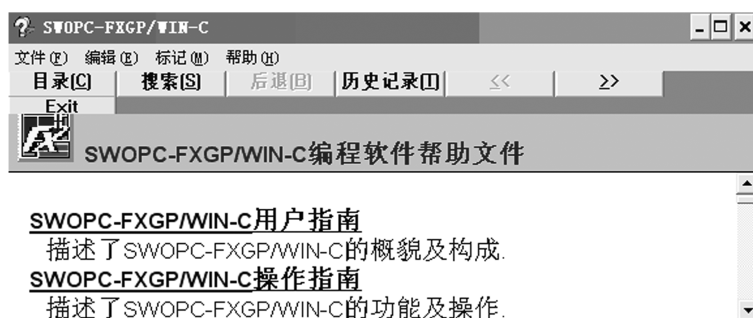


图 10-24　帮助菜单

10. 2. 4　梯形图常用项具体操作

1. 剪切（梯形图编辑）

［编辑（Alt + E）］-［剪切（Alt + T）］

功能：将电路块单元剪切掉。

操作方法：通过［编辑］［块选择］菜单操作选择电路块。再通过［编辑］［剪切］菜单操作或 Ctr + X 键操作，被选中的电路块被剪切掉，被剪切的数据保存在剪切板中。

警告：如果被剪切的数据超过了剪切板的容量，剪切操作将被取消。

2. 粘贴（梯形图编辑）

［编辑（Alt + E）］-［粘贴（Alt + P）］

功能：粘贴电路块单元。

操作方法：通过［编辑］［粘贴］菜单操作，或 Ctrl + V 键操作，被选择的电路块被粘贴上。对于被粘贴上的电路块，数据来自于执行剪切或复制命令时存储在剪切板上的数据。

警告：如果剪切板中的数据未被确认为电路块，剪切操作将被禁止。

3. 复制（梯形图编辑）

［编辑（Alt + E）］-［复制（Alt + C）］

功能：复制电路块单元。

操作方法：通过［编辑］［块选择］菜单操作选择电路块。再通过［编辑］［复制］菜单操作或 Ctrl + C 键操作，被选中的电路块数据被保存在剪切板中。

警告：如果被复制的数据超过了剪切板的容量，复制操作将被取消。

4. 行删除（梯形图编辑）

［编辑（Alt + E）］-［行删除（Alt + L）］

功能：在行单元中删除电路块。

操作方法：通过执行［编辑］［行删除］菜单操作或 Ctrl + Delete 键操作，光标所在行的电路块被删除。

警告：1）该功能在创建（更正）线路时禁用，需在完成线路变化后执行。

2）被删除的数据并未存储在剪切板中。

5. 删除（梯形图编辑）

［编辑（Alt + E）］-［删除（Alt + D）］

功能：删除电路符号或电路块单元。

操作方法：通过进行［编辑］-［删除］菜单操作或 Delete 键操作删除光标所在处的电路符号。欲执行修改操作，首先通过执行［编辑］［块选择］菜单操作选择电路块。再通过［编辑］［删除］菜单操作或 Delete 键操作，被选单元被删除。

警告：被删除的数据并未存储在剪切板中。

6. 行插入（梯形图编辑）

［编辑（Alt + E）］-［行插入（Alt + I）］

功能：插入一行。

操作方法：通过执行［编辑］［行插入］菜单操作，在光标位置上插入一行。

7. 触点

［工具（Alt + T）］-［触点（Alt + N）］-［-| |-…］

［工具（Alt + T）］［触点（Alt + N）］-［-|/|-…］

［工具（Alt + T）］［触点（Alt + N）］-［-|P|-…］

［工具（Alt + T）］［触点（Alt + N）］-［-|F|-…］

功能：输入电路符号中的触点符号。

操作方法：在执行［工具］［触点］［-||-］菜单操作时，选中一个触点符号，显示元件输入对话框。执行［工具］［触点］［-|/|-］菜单操作选中该触点，执行［工具］［触点］［-|P|-］菜单操作选择脉冲触点符号，或执行［工具］［触点］［-|F|-］菜单操作选择下降沿触发触点符号。在元件输入栏中输入元件，按 Enter 键或确认按钮后，光标所在处便有一个元件被登录。若点击参照按钮，则显示元件说明对话框，可完成更多的设置。

8. 线圈

［工具（Alt + T）］-［线圈（Alt + O）］

功能：在电路符号中输入输出线圈。

操作方法：在进行［工具］［线圈］菜单操作时，元件输入对话框被显示。在输入栏中

输入元件，按 Enter 键或确认按钮，于是光标所在地的输出线圈符号被登录。点击参照按钮显示元件说明对话框，可进行进一步的特殊设置。

9. 功能指令线圈

[工具(Alt+T)]-[功能]

功能：输入功能线圈命令等。

操作方法：在执行［工具］［功能］菜单操作时，命令输入对话框显出。在输入栏中输入元件，按 Enter 键或确认按钮，光标所在地的应用命令被登录。再点击参照按钮，命令说明对话框被打开，可进行进一步的特殊设置。

10. 连线

[工具(Alt+T)]-[连线(Alt+W)]-[|]

[工具(Alt+T)]-[连线(Alt+W)]-[-]

[工具(Alt+T)]-[连线(Alt+W)]-[-/-]

[工具(Alt+T)]-[连线(Alt+W)]-[|删除]

功能：输入垂直及水平线，删除垂直线。

操作方法：垂直线被菜单操作［工具］［连线］［|］登录，水平线被菜单操作［工具］［连线］［-］登录，翻转线被菜单操作［被工具］［连线］［-/-］登录，垂直线被菜单操作［工具］［连线］［| 删除］删除。

11. 全部清除

[工具（Alt+T)]-[全部清除（Alt+A）…]

功能：清除程序区（NOP 命令）。

操作方法：点击［工具］［全部清除］菜单，显示清除对话框。通过按 Enter 键或点击确认按钮，执行清除过程。

警告：所清除的仅仅是程序区，而参数的设置值未被改变。

12. 转换（梯形图编辑）

[工具（Alt+T)]-[转换（Alt+C)]

功能：将创建的电路图转换格式存入计算机中。

操作方法：执行［工具］［转换］菜单操作或按［转换］按钮（F4 键）。在转换过程中，显示信息电路转换中。

警告：如果在不完成转换的情况下关闭电路窗口，被创建的电路图将被抹去。

13. 梯形图监控

[监控/测试（Alt+M)]-[开始监控（Alt+S)]

功能：在显示屏上监视 PLC 的操作状态。从电路编辑状态转换到监视状态，同时在显示的电路图中显示 PLC 操作状态（ON/OFF）。

操作方法：激活梯形图视图，通过进行菜单操作进入［监控/测试］［开始监控］。

警告：1）在梯形图监控中，电路图中只有 ON/OFF 状态被监控。

2）当监控当前值以及设置寄存器、定时器、计数器数据时，应使用依据登录监控功能。

14. 程序传送

[PLC]-[传送（Alt+T)]

功能：将已创建的顺控程序成批传送到 PLC 中。传送功能包括［读入］、［写出］及［校验］。

［读入］：将 PLC 中的顺控程序传送到计算机中。

［写出］：将计算机中的顺控程序发送到 PLC 中。

［校验］：将在计算机及 PLC 中的顺控程序加以比较校验。

操作方法：由执行［PLC］［传送］［读入］，［写出］，［校验］菜单操作而完成。当选择［读入］时，应在［PLC 模式设置］对话框中将已连接的 PLC 模式设置好。

警告：1）计算机的 RS232C 端口及 PLC 之间必须用指定的缆线及转换器连接。

2）执行完［读入］后，计算机中的顺控程序将被丢失，PLC 模式被改变成被设定的模式，现有的顺控程序被读入的程序替代。

3）在［写出］时，PLC 应停止运行，程序必须在 RAM 或 EEPROM 保护关断的情况下写出，然后机动进行校验。

15. PLC 存储器清除

［PLC］-［PLC 存储器清除（Alt + P）…］

功能：为了初始化 PLC 中的程序及数据，以下三项将被清除：

［PLC 储存器］：顺控程序为 NOP，参数设置为默认值。

［数据元件存储器］：数据文件缓冲器中的数据置零。

［位元件存储器］：X、Y、M、S、T、C 的值被置零。

操作方法：执行［PLC］［PLC 存储器清除］菜单操作，再在［PLC 存储器清除］中设置清除项。

警告：1）计算机的 RS232C 端口及 PLC 之间必须用指定的缆线及转换器连接。

2）特殊数据寄存器数据不被清除。

10.3 GPP 编程软件的使用

10.3.1 软件的基本概况

SW3D5-GPPW-E 是三菱公司开发的用于 PLC 的编程软件，可在 Windows 3.1 及 Windows 95 操作系统及以后版本下运行，适用于 IBM PC/AT（兼容），其 CPU 为 i486SX 或更高，内部存储器大小需 8MB 或更高（推荐 16MB 以上）。该程序可在串行系统中与 PLC 进行通信、文件传送，操作监控以及各种测试。

在 GPP 软件中，可通过线路符号、助记符来创建顺控指令程序，建立注释数据及设置寄存器数据，并可将其存储为文件，用打印机打印。

在 PLC 与 PC 之间必须有接口单元及缆线，接口单元有 FX-232AWC 型 RS232C/RS422 转换器（便携式）、FX-232AW 型 RS232C/RS422 转换器（内置式），缆线有 FX-422CAB 型 RS422 缆线（用于 FX_1、FX_2、FX_{2C}型 PLC，0.3m）、FX-422CAB-150 型 RS-422 缆线（用于

FX_1、FX_2、FX_{2C}型 PLC，1.5m）。

10.3.2　梯形图的编写

GPP 软件使用起来灵活、简单、方便，把它安装在程序中使用时，只要进入程序，选中 MELSEC　Applications→在 Windows 操作系统下运行的 GPP，打开工程，选中新建，出现如图 10-25 所示画面。先在 PLC 系列中选出所使用的可编程控制器的 CPU 系列，如选用的是 FX 系列，则选 FXCPU，PLC 类型是指选机器的型号；如用 FX_{2N}系列，所以选中 FX2N（C），确定后出现如图 10-26 所示画面。在 LD 编辑模式画面上，最左边是根母线，蓝色框表示现在可写入区域，上方有菜单，只要任意点击其中的元件，就可得到所要的线圈、触点等。

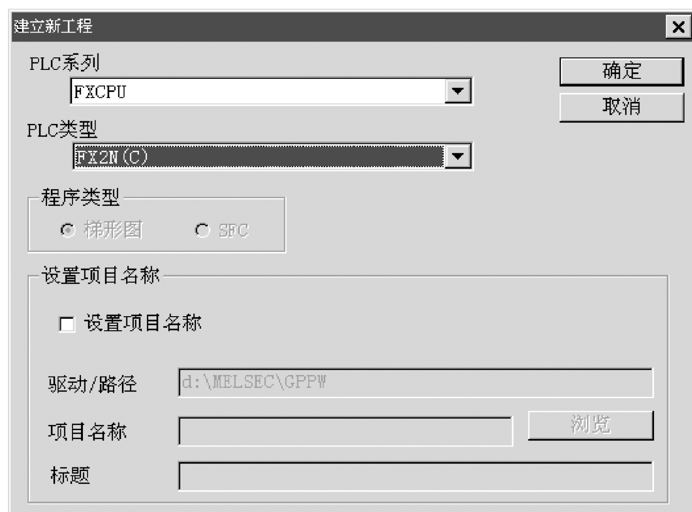


图 10-25　PLC 类型的选择



图 10-26　GPP 编写梯形图画面

如要在某处输入 X000，则只要把蓝色光标移动到所需要写的地方，然后在菜单上选中┤ ├触点，出现如图 10-27 所示画面。



图 10-27　触点的输入

再输入 X000，即可完成写入 X000。

如要输入一个定时器，先选中线圈，再输入一些数据。数据的输入标准在第 3 章中已提过，图 10-28 显示了其操作过程。



图 10-28　定时器的输入

对于计数器，因为它有时要用到两个输入端，所以在操作上既要输入线圈部分，又要输入复位部分，其操作过程如图 10-29 和图 10-30 所示。

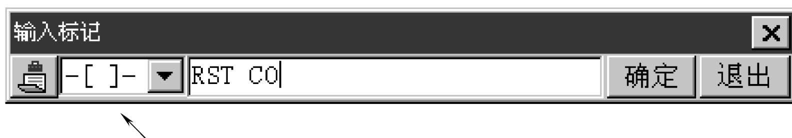


图 10-29　计数器的复位



图 10-30　计数器的输入

注意图 10-29 中的箭头所示部分，它选中的是应用指令，而不是线圈。

图 10-31 所示是一个简单的计数器显示形式。

通过上面的举例可知，如果需要画梯形图中的其他一些线、输出触点、定时器、辅助继电器等，在菜单上都能方便地找到，再输入元件编号即可。在主界面的上方还有其他一些功能菜单，如果把光标指向菜单上的某处，在屏幕的左下角就会显示其功能，或者打开菜单上的“帮助”，就可找到一些快捷键列表、特殊继电器/寄存器等信息。

10.3.3　程序的传输、调试

当写完梯形图，最后写上 END 语句后，必须进行程序转换。转换功能键有两种，在图 10-32的箭头所示位置。

在程序的转换过程中，如果程序有错，它会显示，也可通过菜单“工具”查询程序的

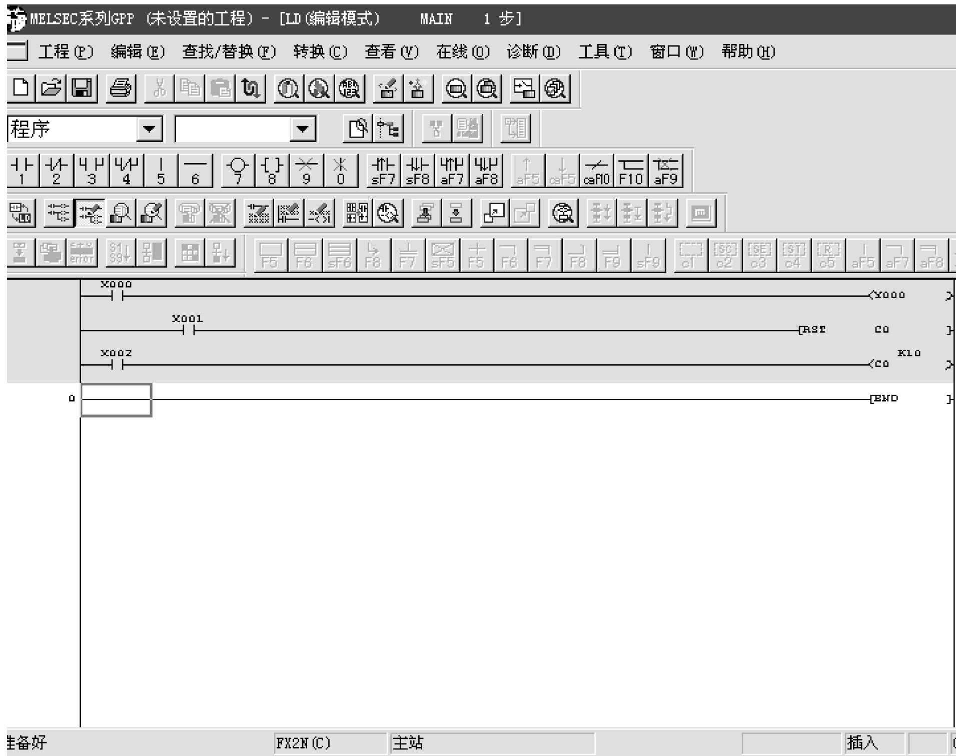


图 10-31　计数器显示形式



图 10-32　程序转换

正确性。

只有当梯形图转换完毕后，才能进行程序的传送。传送前必须将 FX_{2N} 面板上的开关拨向 STOP 状态，再打开“在线”菜单，进行传送设置，如图 10-33 所示。

根据图示，必须确定 PLC 与计算机的连接是通过 COM1 口还是 COM2 口连接，将 RS232 线连在了计算机的 COM1 口还是 COM2 口，在操作上需要进行设置选择。

写完梯形图后，在菜单上还是选择“在线”，选中“写入 PLC（W）”，就出现如图 10-34所示画面。



图 10-33　传送设置

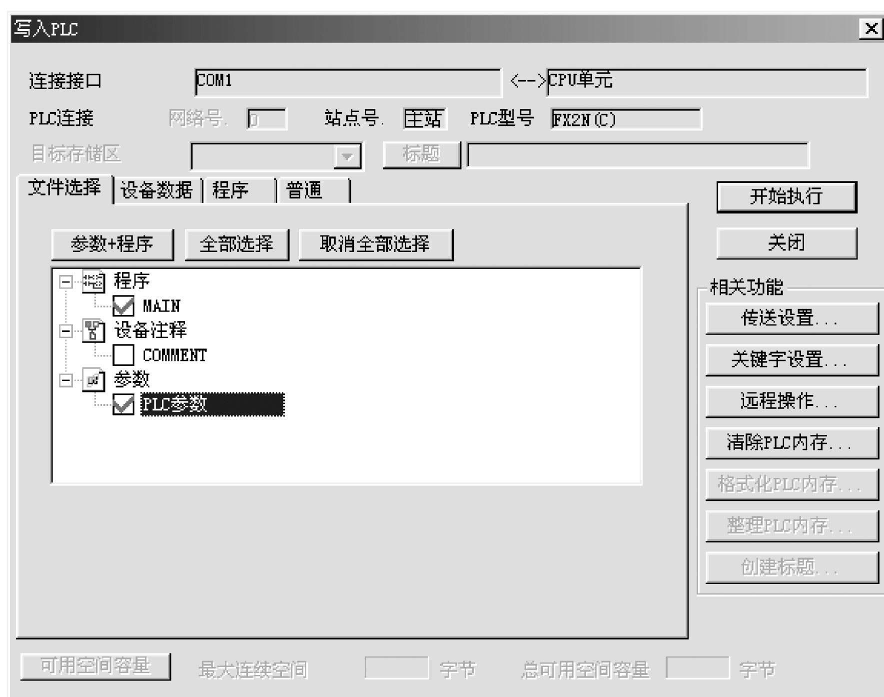


图 10-34　程序的写入

从图 10-34 可看出，在执行读取及写入前必须先选中 MAIN、PLC 参数，否则不能执行对程序的读取、写入，然后点击“开始执行”按钮即可。

附　　录

附录 A　FX_{2N}系列 PLC 软元件一览表

表 A-1　FX_{2N}系列 PLC 软元件一览表

	FX_{2N}-16M	FX_{2N}-32M	FX_{2N}-48M	FX_{2N}-64M	FX_{2N}-80M	FX_{2N}-128M	扩展时	
输入继电器 X	X000 ~ X007 8 点	X000 ~ X017 16 点	X000 ~ X027 24 点	X000 ~ X037 32 点	X000 ~ X047 40 点	X000 ~ X077 64 点	X000 ~ X267 184 点	I/O 点 合计 256 点
输出继电器 Y	Y000 ~ Y007 8 点	Y000 ~ Y017 16 点	Y000 ~ Y027 24 点	Y000 ~ Y037 32 点	Y000 ~ Y047 40 点	Y000 ~ Y077 64 点	Y000 ~ Y267 184 点	
辅助继电器 M	M0 ~ M499 500 点 一般用		【M500 ~ M1023】 524 点保持用		【M1024 ~ M3071】 2048 点 保持用		M8000 ~ M8255 256 点 特殊用	
状态 S	S0 ~ S499 500 点一般用 初始化用 S0 ~ S9 原点回归用 S10 ~ S19		【S500 ~ S899】 400 点 保持用		【S900 ~ S999】 100 点 信号报警用			
定时器 T	T0 ~ T199 200 点 100ms 子程序和中断服务程序用 T192 ~ T199		T200 ~ T245 46 点 10ms		【T246 ~ T249】 4 点 1ms 累积		【T250 ~ T255】 6 点 100ms 累积	
计数器 C	16 位增量计数		32 位高速可逆计数器最大 6 点					
	C0 ~ C99 100 点 一般用	【C100 ~ C199】 100 点 保持用	C200 ~ C219 20 点 一般用	【C220 ~ C234】 15 点 保持用	【C235 ~ C245】 1 相 1 输入	【C246 ~ C250】 1 相 2 输入	【C251 ~ C255】 2 相输入	
数据寄存器 D、V、Z	D0 ~ D199 200 点 一般用	【D200 ~ D511】 312 点保持用	【D512 ~ D7999】 7488 点 保持用 D1000 以后可设定作为文件寄存器使用	D8000 ~ D8195 256 点 特殊用	V7 ~ V0 Z7 ~ Z0 16 点 变址用			
嵌套 指针	N0 ~ N7 8 点 主控用	P0 ~ P127 128 点 跳跃、子程序用，分支式指针	I00 ~ I50 6 点 输入中断用指针	I6 ~ I8 3 点 定时器中断用指针	I010 ~ I060 6 点 计数器中断用指针			
常数 K	16 位-32768 ~ 32767			32 位-2147483648 ~ 2147483647				
常数 H	16 位 0 ~ FFFFH			32 位-0 ~ FFFFFFFFH				

注：【】内的软元件为停电保持领域。

附录 B　基本指令一览表

表 B-1　基本指令一览表

助记符、名称	功能	回路表示和可用软元件	助记符、名称	功能	回路表示和可用软元件
【LD】 取	运算开始 动合触点	X,Y,M,S,T,C	【OUT】 输出	线圈驱 动指令	Y,M,S,T,C
【LDI】 取反转	运算开始 动断触点	X,Y,M,S,T,C	【SET】 置位	线圈接通 保持指令	SET Y,M,S
【LDP】 取脉冲 上升沿	上升沿检出 运算开始	X,Y,M,S,T,C	【RST】 复位	线圈接通 清除指令	RST Y,M,S,T,C,D
【LDF】 取脉冲 下降沿	下降沿检出 运算开始	X,Y,M,S,T,C	【PLS】 上升沿脉冲	上升沿检 出指令	PLS Y,M
【AND】 与	串联 动合触点	X,Y,M,S,T,C	【PLF】 下降沿脉冲	下降沿检 出指令	PLF Y,M
【ANI】 与反转	串联 动断触点	X,Y,M,S,T,C	【MC】 主控	公共串联 点的连接 线圈指令	MC N Y,M
【ANDP】 与脉冲 上升沿	上升沿检出 串联连接	X,Y,M,S,T,C	【MCR】 主控复位	公共串联点 的清除指令	MCR N
【ANDF】 与脉冲 下降沿	下降沿检出 串联连接	X,Y,M,S,T,C	【MPS】 进栈	运算存储	MPS
【OR】 或	并联 动合触点	X,Y,M,S,T,C	【MRD】 读栈	存储读出	MRD
【ORI】 或反转	并联 动断触点	X,Y,M,S,T,C	【MPP】 出栈	存储读出 与复位	MPP
【ORP】 或脉冲 上升沿	脉冲上升 沿检出并 联连接	X,Y,M,S,T,C	【INV】 反转	运算结果 的反转	INV
【ORF】 或脉冲 下降沿	脉冲下降 沿检出并 联连接	X,Y,M,S,T,C	【NOP】 空操作	无动作	清除流程程序 或留空待用
【ANB】 回路块与	并联回路 块的串联 连接		【END】 结束	顺控程序 结束	顺控顺序结束回到“0”
【ORB】 回路块或	串联回路 块的并联 连接				

附录 C　应用指令一览表

表 C-1　以功能号顺序排列应用指令一览表

分类	FNC NO.	指令助记符	功能说明	对应不同型号的 PLC				
				FX_{0S}	FX_{0N}	FX_{1S}	FX_{1N}	FX_{2N}
程序流程	00	CJ	条件跳转	√	√	√	√	√
	01	CALL	子程序调用	×	×	√	√	√
	02	SRET	子程序返回	×	×	√	√	√
	03	IRET	中断返回	√	√	√	√	√
	04	EI	开中断	√	√	√	√	√
	05	DI	关中断	√	√	√	√	√
	06	FEND	主程序结束	√	√	√	√	√
	07	WDT	监视定时器刷新	√	√	√	√	√
	08	FOR	循环的起点与次数	√	√	√	√	√
	09	NEXT	循环的终点	√	√	√	√	√
传送与比较	10	CMP	比较	√	√	√	√	√
	11	ZCP	区间比较	√	√	√	√	√
	12	MOV	传送	√	√	√	√	√
	13	SMOV	位传送	×	×	×	×	√
	14	CML	取反传送	×	×	×	×	√
	15	BMOV	成批传送	×	√	√	√	√
	16	FMOV	多点传送	×	×	×	×	√
	17	XCH	交换	×	×	×	×	√
	18	BCD	二进制数转换成 BCD 码	√	√	√	√	√
	19	BIN	BCD 码转换成二进制数	√	√	√	√	√
算术与逻辑运算	20	ADD	二进制加法运算	√	√	√	√	√
	21	SUB	二进制减法运算	√	√	√	√	√
	22	MUL	二进制乘法运算	√	√	√	√	√
	23	DIV	二进制除法运算	√	√	√	√	√
	24	INC	二进制递增运算	√	√	√	√	√
	25	DEC	二进制递减运算	√	√	√	√	√
	26	WAND	字逻辑与	√	√	√	√	√
	27	WOR	字逻辑或	√	√	√	√	√
	28	WXOR	字逻辑异或	√	√	√	√	√
	29	NEG	求二进制补码	×	×	×	×	√

（续）

分类	FNC NO.	指令助记符	功能说明	对应不同型号的 PLC				
				FX_{0S}	FX_{0N}	FX_{1S}	FX_{1N}	FX_{2N}
循环与移位	30	ROR	循环右移	×	×	×	×	√
	31	ROL	循环左移	×	×	×	×	√
	32	RCR	带进位右移	×	×	×	×	√
	33	RCL	带进位左移	×	×	×	×	√
	34	SFTR	位右移	√	√	√	√	√
	35	SFTL	位左移	√	√	√	√	√
	36	WSFR	字右移	×	×	×	×	√
	37	WSFL	字左移	×	×	×	×	√
	38	SFWR	FIFO(先入先出)写入	×	×	√	√	√
	39	SFRD	FIFO(先入先出)读出	×	×	√	√	√
传送与比较	10	CMP	比较	√	√	√	√	√
	11	ZCP	区间比较	√	√	√	√	√
	12	MOV	传送	√	√	√	√	√
	13	SMOV	位传送	×	×	×	×	√
	14	CML	取反传送	×	×	×	×	√
	15	BMOV	成批传送	×	√	√	√	√
	16	FMOV	多点传送	×	×	×	×	√
	17	XCH	交换	×	×	×	×	√
	18	BCD	二进制数转换成 BCD 码	√	√	√	√	√
	19	BIN	BCD 码转换成二进制数	√	√	√	√	√
数据处理	40	ZRST	区间复位	√	√	√	√	√
	41	DECO	解码	√	√	√	√	√
	42	ENCO	编码	√	√	√	√	√
	43	SUM	统计 ON 位数	×	×	×	×	√
	44	BON	查询位某状态	×	×	×	×	√
	45	MEAN	求平均值	×	×	×	×	√
	46	ANS	报警器置位	×	×	×	×	√
	47	ANR	报警器复位	×	×	×	×	√
	48	SQR	求平方根	×	×	×	×	√
	49	FLT	整数与浮点数转换	×	×	×	×	√

（续）

分类	FNC NO.	指令助记符	功能说明	对应不同型号的 PLC				
				FX_{0S}	FX_{0N}	FX_{1S}	FX_{1N}	FX_{2N}
高速处理	50	REF	输入输出刷新	√	√	√	√	√
	51	REFF	输入滤波时间调整	×	×	×	×	√
	52	MTR	矩阵输入	×	×	√	√	√
	53	HSCS	比较置位(高速计数用)	×	√	√	√	√
	54	HSCR	比较复位(高速计数用)	×	√	√	√	√
	55	HSZ	区间比较(高速计数用)	×	×	×	×	√
	56	SPD	脉冲密度	×	×	√	√	√
	57	PLSY	指定频率脉冲输出	√	√	√	√	√
	58	PWM	脉宽调制输出	√	√	√	√	√
	59	PLSR	带加减速脉冲输出	×	×	√	√	√
方便指令	60	IST	状态初始化	√	√	√	√	√
	61	SER	数据查找	×	×	×	×	√
	62	ABSD	凸轮控制(绝对式)	×	×	√	√	√
	63	INCD	凸轮控制(增量式)	×	×	√	√	√
	64	TTMR	示教定时器	×	×	×	×	√
	65	STMR	特殊定时器	×	×	×	×	√
	66	ALT	交替输出	√	√	√	√	√
	67	RAMP	斜波信号	√	√	√	√	√
	68	ROTC	旋转工作台控制	×	×	×	×	√
	69	SORT	列表数据排序	×	×	×	×	√
外部I/O设备	70	TKY	10 键输入	×	×	×	×	√
	71	HKY	16 键输入	×	×	×	×	√
	72	DSW	BCD 码数字开关输入	×	×	√	√	√
	73	SEGD	七段码译码	×	×	×	×	√
	74	SEGL	七段码分时显示	×	×	√	√	√
	75	ARWS	方向开关	×	×	×	×	√
	76	ASC	ASCII 码转换	×	×	×	×	√
	77	PR	ASCII 码打印输出	×	×	×	×	√
	78	FROM	BFM 读出	×	√	×	√	√
	79	TO	BFM 写入	×	√	×	√	√

（续）

分类	FNC NO.	指令助记符	功能说明	对应不同型号的 PLC				
				FX_{0S}	FX_{0N}	FX_{1S}	FX_{1N}	FX_{2N}
外围设备	80	RS	串行数据传送	×	√	√	√	√
	81	PRUN	八进制位传送	×	×	√	√	√
	82	ASCI	十六进制数转换成 ASCII 码	×	√	√	√	√
	83	HEX	ASCII 码转换成十六进制数	×	√	√	√	√
	84	CCD	校验	×	√	√	√	√
	85	VRRD	电位器变量输入	×	×	√	√	√
	86	VRSC	电位器变量区间	×	×	√	√	√
	88	PID	PID 运算	×	×	√	√	√
浮点数运算	110	ECMP	二进制浮点数比较	×	×	×	×	√
	111	EZCP	二进制浮点数区间比较	×	×	×	×	√
	118	EBCD	二进制浮点数→十进制浮点数	×	×	×	×	√
	119	EBIN	十进制浮点数→二进制浮点数	×	×	×	×	√
	120	EADD	二进制浮点数加法	×	×	×	×	√
	121	EUSB	二进制浮点数减法	×	×	×	×	√
	122	EMUL	二进制浮点数乘法	×	×	×	×	√
	123	EDIV	二进制浮点数除法	×	×	×	×	√
	127	ESQR	二进制浮点数开平方	×	×	×	×	√
	129	INT	二进制浮点数→二进制整数	×	×	×	×	√
	130	SIN	二进制浮点数 sin 运算	×	×	×	×	√
	131	COS	二进制浮点数 cos 运算	×	×	×	×	√
	132	TAN	二进制浮点数 tan 运算	×	×	×	×	√
定位	155	ABS	ABS 当前值读取	×	×	√	√	×
	156	ZRN	原点回归	×	×	√	√	×
	157	PLSY	可变速的脉冲输出	×	×	√	√	×
	158	DRVI	相对位置控制	×	×	√	√	×
	159	DRVA	绝对位置控制	×	×	√	√	×
时钟运算	160	TCMP	时钟数据比较	×	×	√	√	√
	161	TZCP	时钟数据区间比较	×	×	√	√	√
	162	TADD	时钟数据加法	×	×	√	√	√
	163	TSUB	时钟数据减法	×	×	√	√	√
	166	TRD	时钟数据读出	×	×	√	√	√
	167	TWR	时钟数据写入	×	×	√	√	√
	169	HOUR	计时器	×	×	√	√	√

（续）

分类	FNC NO.	指令助记符	功能说明	对应不同型号的 PLC				
				FX_{0S}	FX_{0N}	FX_{1S}	FX_{1N}	FX_{2N}
外部设备	170	GRY	二进制数→格雷码	×	×	×	×	√
	171	GBIN	格雷码→二进制数	×	×	×	×	√
	176	RD3A	模拟量模块（FX_{0N}-3A）读出	×	√	×	√	×
	177	WR3A	模拟量模块（FX_{0N}-3A）写入	×	√	×	√	×
触点比较	224	LD =	（S1）=（S2）时起始触点接通	×	×	√	√	√
	225	LD >	（S1）>（S2）时起始触点接通	×	×	√	√	√
	226	LD <	（S1）<（S2）时起始触点接通	×	×	√	√	√
	228	LD≠	（S1）≠（S2）时起始触点接通	×	×	√	√	√
	229	LD≤	（S1）≥（S2）时起始触点接通	×	×	√	√	√
	230	LD≥	（S1）≥（S2）时起始触点接通	×	×	√	√	√
	232	AND =	（S1）=（S2）时串联触点接通	×	×	√	√	√
	233	AND >	（S1）>（S2）时串联触点接通	×	×	√	√	√
	234	AND <	（S1）<（S2）时串联触点接通	×	×	√	√	√
	236	AND≠	（S1）≠（S2）时串联触点接通	×	×	√	√	√
	237	AND≤	（S1）≤（S2）时串联触点接通	×	×	√	√	√
	238	AND≥	（S1）≥（S2）时串联触点接通	×	×	√	√	√
	240	OR =	（S1）=（S2）时并联触点接通	×	×	√	√	√
	241	OR >	（S1）>（S2）时并联触点接通	×	×	√	√	√
	242	OR <	（S1）<（S2）时并联触点接通	×	×	√	√	√
	244	OR≠	（S1）≠（S2）时并联触点接通	×	×	√	√	√
	245	OR≤	（S1）≤（S2）时并联触点接通	×	×	√	√	√
	246	OR≥	（S1）≥（S2）时并联触点接通	×	×	√	√	√

表 C-2　以指令助记符为序排列应用指令一览表

分类	指令助记符	FNC NO.	功　能	对应 PLC				分类	指令助记符	FNC NO.	功　能	对应 PLC			
				FX_{1S}	FX_{1N}	FX_{2N}	FX_{2NC}					FX_{1S}	FX_{1N}	FX_{2N}	FX_{2NC}
A	ABS	155	ABS 现在值读出	○	○	—	—	A	AND≥	238	（S1）≥（S2）	○	○	○	○
	ABSD	62	凸轮控制（绝对方式）	○	○	○	○		ANR	47	信号报警器复位	—	—	○	○
	ADD	20	BIN 加法	○	○	○	○		ANS	46	信号报警器复位	—	—	○	○
	ALT	66	交替输出	○	○	○	○		ARWS	75	箭形开关	—	—	○	○
	AND =	232	（S1）=（S2）	○	○	○	○		ASC	76	ASCII 码转换	—	—	○	○
	AND >	233	（S1）>（S2）	○	○	○	○		ASCI	82	HEX-ASCII 码转换	○	○	○	○
	AND <	234	（S1）<（S2）	○	○	○	○	B	BCD	18	BCD 码转换	○	○	○	○
	AND≠	236	（S1）≠（S2）	○	○	○	○		BIN	19	BIN 转换	○	○	○	○
	AND≤	237	（S1）≤（S2）	○	○	○	○		BMOV	15	成批传送	○	○	○	○

（续）

分类	指令助记符	FNC NO.	功　　能	对应 PLC			
				FX_{1S}	FX_{1N}	FX_{2N}	FX_{2NC}
B	BON	44	ON 位数判定	—	—	○	○
C	CALL	01	子程序调用	○	○	○	○
	CCD	84	检验码	○	○	○	○
	CJ	00	条件跳转	○	○	○	○
	CML	14	取反传送	—	—	○	○
	CMP	10	比较	○	○	○	○
	COS	131	浮点数 cos 运算	—	—	○	○
D	DEC	25	BIN 减 1	○	○	○	○
	DECO	41	详码	○	○	○	○
	DI	05	中断禁止	○	○	○	○
	DIV	23	BIN 除法	○	○	○	○
	DRVA	159	绝对定位	○	○	—	—
	DRVI	158	相对定位	○	○	—	—
	DSW	72	数字式开关	○	○	○	○
E	EADD	120	二进制浮点数加法	—	—	○	○
	EBCD	118	二进制浮点数→十进制浮点转换	—	—	○	○
	EBIN	119	十进制浮点数→二进制浮点转换	—	—	○	○
	ECMP	110	二进制浮点数比较	—	—	○	○
	EDIV	123	二进制浮点数除法	—	—	○	○
	EI	04	中断许可	○	○	○	○
	EMUL	122	二进制浮点数乘法	—	—	○	○
	ENCO	42	编码	○	○	○	○
	ESOR	127	二进制浮点数开方	—	—	○	○
	ESUB	121	二进制浮点数减法	—	—	○	○
	EZCP	111	二进制浮点数区间比较	—	—	○	○
F	FEND	06	主程序结束	○	○	○	○
	FLT	49	BIN 整数→二进制浮点数转换	—	—	○	○
	FMOV	16	多点传送	—	—	○	○
	FOR	08	循环范围开始	○	○	○	○
	FROM	78	BFM 读出	—	○	○	○
G	GBIN	171	格雷码逆变换	—	—	○	○
	GRY	170	格雷码变换	—	—	○	○
H	HEX	83	ASCII→HEX 转换	○	○	○	○
	HKY	71	16 键输入	—	—	○	○
	HOUR	169	计时器	○	○	—	—
	HSOR	54	比较复位(高速计数器)	○	○	○	○
	HSCS	53	比较置位(高速计数器)	○	○	○	○
	HSZ	55	区间比较(高速计数器)	—	—	○	○

分类	指令助记符	FNC NO.	功　　能	对应 PLC			
				FX_{1S}	FX_{1N}	FX_{2N}	FX_{2NC}
I	INC	24	BIN 加 1	○	○	○	○
	INCD	63	凸轮控制(增量方式)	○	○	○	○
	INT	129	二进制浮点数→BIN 整数转换	—	—	○	○
	IRET	03	中断返回	○	○	○	○
	IST	60	初始化状态	○	○	○	○
L	LD =	224	(S1) = (S2)	○	○	○	○
	LD >	225	(S1) > (S2)	○	○	○	○
	LD <	226	(S1) < (S2)	○	○	○	○
	LD≠	228	(S1)≠(S2)	○	○	○	○
	LD≤	229	(S1)≤(S2)	○	○	○	○
	L1D≥	230	(S1)≥(S2)	○	○	○	○
M	MEAN	45	平均值	—	—	○	○
	MOV	12	传送	○	○	○	○
	MTR	52	矩阵输入	○	○	○	○
	MUL	22	BIN 乘法	○	○	○	○
N	NEG	29	求补码	—	—	○	○
	NEXT	09	循环范围终了	○	○	○	○
O	OR =	240	(S1) = (S2)	○	○	○	○
	OR >	241	(S1) > (S2)	○	○	○	○
	OR <	242	(S1) < (S2)	○	○	○	○
	OR≠	244	(S1)≠(S2)	○	○	○	○
	OR≤	245	(S1)≤(S2)	○	○	○	○
	OR≥	246	(S1)≥(S2)	○	○	○	○
P	PID	88	PID 运算	○	○	○	○
	PLSV	157	可变速脉冲输出	○	○	—	—
	PLSY	57	脉冲输出	○	○	○	○
	PLSR	59	有加减速脉冲输出	○	○	○	○
	PR	77	ASCII 键打印输出	—	—	○	○
	PRUN	81	八进制输送	○	○	○	○
	PWM	58	脉冲幅度调整	○	○	○	○
R	RAMP	67	斜坡信号	○	○	○	○
	RCL	33	带进位的循环左移	—	—	○	○
	RCR	32	带进位的循环右移	—	—	○	○
	RD3A	176	模拟块读出	—	○	—	—
	REF	50	输入输出刷新	○	○	○	○
	REFF	51	滤波器调整	—	—	○	○
	ROL	31	循环左移	—	—	○	○
	ROR	30	循环右移	—	—	○	○
	ROTC	68	旋转工作台控制	—	—	○	○
	RS	80	串行数据输送	○	○	○	○

（续）

分类	指令助记符	FNC NO.	功　能	对应 PLC				分类	指令助记符	FNC NO.	功　能	对应 PLC			
				FX_{1S}	FX_{1N}	FX_{2N}	FX_{2NC}					FX_{1S}	FX_{1N}	FX_{2N}	FX_{2NC}
	SEGD	73	段详码	—	—	○	○		TKY	70	数字键输入	—	—	○	○
	SEGL	74	七段码按时间分割显示	○	○	○	○		TO	79	BFM 写入	—	○	○	○
	SER	61	数据查找	—	—	○	○		TRD	166	时钟数据读出	○	○	○	○
	SFRD	39	移位读出	○	○	○	○	T	TSUB	163	时钟数据减法	○	○	○	○
	SFTL	35	位左移	○	○	○	○		TTMR	64	示教定时器	—	—	○	○
	SFTR	34	位右移	○	○	○	○		TWR	167	时钟数据写入	○	○	○	○
	SFWR	38	移位写入	○	○	○	○		TZCP	161	时钟数据区间比较	○	○	○	○
	SIN	130	浮点数 sin 运算	—	—	○	○	V	VRRD	85	电位器读出	○	○	○	○
S	SMOV	13	移位传送	—	—	○	○		VRSC	86	电位器刻度	○	○	○	○
	SORT	69	数据排列	—	—	○	○		WAND	26	逻辑字与	○	○	○	○
	SPD	56	脉冲密度	○	○	○	○		WDT	07	监控定时器	○	○	○	○
	SOR	48	BIN 开方	—	—	○	○		WOR	27	逻辑字或	○	○	○	○
	SRET	02	子程序返回	○	○	○	○	W	WR3A	177	模拟块写入	—	—	—	—
	STMR	65	特殊定时器	—	—	○	○		WSFL	37	字左移	—	—	○	○
	SUB	21	BIN 减法	○	○	○	○		WSFR	36	字右移	—	—	○	○
	SUM	43	ON 位数	—	—	○	○		WXOR	28	逻辑字异或	○	○	○	○
	SWAP	147	上下字节交换	—	—	○	○	X	XCH	17	交换	—	—	○	○
	TADD	162	时钟数据加法	○	○	○	○		ZCP	11	区间比较	○	○	○	○
T	TAN	132	浮点数 tan 运算	—	—	○	○	Z	ZRN	156	原点回归	○	○	—	—
	TCMP	160	时钟数据比较	○	○	○	○		ZRST	40	批次复位	○	○	○	○

附录D　FX 系列PLC 指令执行时间一览表

表 D-1　FX 系列 PLC 指令执行时间一览表

功能号	指令助记符	步数/步①		ON 状态时的执行时间/μs		OFF 状态时的执行时间/μs	
		16 位指令	32 位指令	16 位指令	32 位指令	16 位指令	32 位指令
—	LD	1	—	0.08(M1536～M3071 时为 0.16)			
—	LDI	1	—	0.08(M1536～M3071 时为 0.16)			
—	AND	1	—	0.08(M1536～M3071 时为 0.16)			
—	ANI	1	—	0.08(M1536～M3071 时为 0.16)			
—	OR	1	—	0.08(M1536～M3071 时为 0.16)			
—	ORI	1	—	0.08(M1536～M3071 时为 0.16)			
—	ANB	1	—	0.08			
—	ORB	1	—	0.08			

（续）

功能号	指令助记符	步数/步①		ON 状态时的执行时间/μs		OFF 状态时的执行时间/μs	
		16 位指令	32 位指令	16 位指令	32 位指令	16 位指令	32 位指令
—	MPS	1	—	0.08			
—	MRD	1	—	0.08			
—	MPP	1	—	0.08			
—	INV	1	—	0.08			
—	NOP	1	—	0.08			
—	OUT Y,M	1	—	0.08（M1536 ~ M3071 或者 M8□□□时为 0.16）			
—	SET Y,M	1	—	0.08（M1536 ~ M3071 或者 M8□□□时为 0.16）			
—	RST Y,M	1	—	0.08（M1536 ~ M3071 或者 M8□□□时为 0.16）			
—	PLS Y,M	2	—	0.32（M1536 ~ M3071 时为 0.40）			
—	PLF Y,M	2	—	0.32（M1536 ~ M3071 时为 0.40）			
—	P□□□	1	—	0.08			
—	I□□□	1	—	0.08			
—	MV	3	—	25		28	
—	MCR	2	—	21		—	—
—	STL	1	—	27.3 + 12.6n（n 为并联合流数）		—	—
—	RET	1	—	21.6		—	—
—	END	1	—	508 + 3.5X + 5.7Y②		—	—
—	LDP	2	—	44		—	—
—	LDF	2	—	44		—	—
—	ANDP	2	—	38		—	—
—	ANDF	2	—	38		—	—
—	ORP	2	—	38		—	—
—	ORF	2	—	38		—	—
—	OUT S	2	—	25		25	
—	SET S	2	—	24③		18	
—	RST S	2	—	24		18	
—	OUT T K	3	—	43	—	38	—
—	OUT T D	3	—	43	—	38	—
—	RST T	2	—	27		25	
—	OUT C K	3	5	26	26	25	
—	OUT C D	3	5	26	26	25	
—	RST C	2	—	27		25	
—	RST D,V,Z	3	—	22	—	18	—
0	CJ	3	—	29.0	—	6.4	—
1	CALL	3	—	32.2	—	6.4	—
2	SRET	1	—	21.2	—	—	—

（续）

功能号	指令助记符	步数/步①		ON 状态时的执行时间/μs		OFF 状态时的执行时间/μs	
		16 位指令	32 位指令	16 位指令	32 位指令	16 位指令	32 位指令
3	IRET	1	—	18. 1	—	—	—
4	EI	1	—	55. 8	—	—	—
5	DI	1	—	18. 5	—	—	—
6	FEND	1	—	508 + 3. 5X + 5. 7Y②	—	—	—
7	WDT	1	—	26. 3	—	6. 4	—
8	FOR	3	—	27. 6	—	—	—
9	NEXT	1	—	5. 2	—	—	—
10	CMP	7	13	87. 6	91. 9	6. 4	6. 4
11	ZCP	9	17	103. 2	108. 9	6. 4	6. 4
12	MOV	5	19	1. 52	1. 84	1. 52	1. 84
13	SMOV	11	—	155. 2 m1, m2, $n = 1 \sim 4$	—	6. 4 m1, m2, $n = 1 \sim 4$	—
14	CML	5	9	51. 4	55. 9	6. 4	6. 4
15	BMOV	7	—	97. 0 + 1. 7n	—	6. 4	—
16	FMOV	7	13	69. 1 + 2. 8n	73. 2 + 5. 2n	6. 4	6. 4
17	XCH	5	9	57. 2	64. 0	6. 4	6. 4
18	BCD	5	9	37. 9	57. 6	6. 4	6. 4
19	BIN	5	9	32. 4	44. 5	6. 4	6. 4
20	ADD	7	13	27. 6	28. 9	6. 4	6. 4
21	SUB	7	13	27. 6	28. 9	6. 4	6. 4
22	MUL	7	13	25. 2	31. 4	6. 4	6. 4
23	DIV	7	13	32. 0	36. 4	6. 4	6. 4
24	INC	3	5	18. 8	20. 2	6. 4	6. 4
25	DEC	3	5	18. 9	20. 0	6. 4	6. 4
26	WAND	7	13	23. 4	24. 8	6. 4	6. 4
27	WOR	7	13	23. 5	24. 7	6. 4	6. 4
28	WXOR	7	13	23. 5	25. 0	6. 4	6. 4
29	NEG	3	5	35. 3	38. 4	6. 4	6. 4
30	ROR	5	9	61. 7	65. 3	6. 4	6. 4
31	ROL	5	9	61. 2	65. 2	6. 4	6. 4
32	RCR	5	9	66. 3 + 2. 2n	69. 7 + 2. 6n	6. 4	6. 4
33	RCL	5	9	65. 8 + 2. 2n	69. 5 + 2. 6n	6. 4	6. 4
34	SFTR	9	—	107. 0 + 53. 8nl	—	6. 4	—
35	SFTL	9	—	104. 9 + 53. 8nl	—	6. 4	—
36	WSFR	9	—	125. 6 + 11. 7nl	—	6. 4	—

（续）

功能号	指令助记符	步数/步①		ON 状态时的执行时间/μs		OFF 状态时的执行时间/μs	
		16 位指令	32 位指令	16 位指令	32 位指令	16 位指令	32 位指令
37	WSFL	9	—	125.4 + 11.8nl	—	6.4	—
38	SFWR	7	—	83.9	—	6.4	—
39	SFRD	7	—	80.2	—	6.4	—
40	ZRST(D)	5	—	77.0 + 1.7n④	—	6.4	—
40	ZRST(T,C,S)	5	—	83.0 + 11.1n④	—	6.4	—
40	ZRST(Y,M)	5	—	89.2 + 9.4n④	—	6.4	—
41	DECO	7	—	76.0	—	6.4	—
42	ENCO	7	—	81.8	—	6.4	—
43	SUM	5	9	72.8	94.6	6.4	6.4
44	BON	7	13	78.2	82.3	6.4	6.4
45	MEAN	7	13	83.8 + 3.4n	90.9 + 6.7n	6.4	6.4
46	ANS	7	—	100.8	—	96.2	—
47	ANR	1	—	37.7	—	6.4	—
48	SOR	5	9	150.2	154.8	6.4	6.4
49	FLT	5	9	66.8	66.8	6.4	6.4
50	REF	5	—	99.6 + 0.6n	—	6.4	—
51	REFF	3	—	65.3 + 1.7n	—	6.4	—
52	MTR	9	—	39.1	—	23.6	—
53	HSCS	—	13	—	87.8	—	6.4
54	HSCR	—	13	—	88.6	—	6.4
55	HSZ	—	17	—	100.6	—	6.4
56	SPD	7	—	80.2	—	80.2	—
57	PLSY	7	13	85.0	86.6	73.3	75.8
58	PWM	7	—	70.4	—	73.3	—
59	PLSR	9	17	122.6	125.6	87.5	90.5
60	IST	7	—	114.3	147.0 + 9.0n	6.4	—
61	SER	9	17	129.2 + 8.6n	97.5 + 21.5n	22.9	22.9
62	ABSD	9	17	91.8 + 20.2n	—	6.4	6.4
63	INCD	9	—	110.5	—	19.5	—
64	TTMR	5	—	54.9	—	44.9	—
65	STMR	7	—	84.4	—	84.4	—
66	ALT	3	—	50.1	—	6.4	—
67	RAMP	9	—	98.1	—	81.6	—
68	ROTC	9	—	118.4	—	107.2	—
69	SORT	11	—	50.5	—	19.5	—

（续）

功能号	指令助记符	步数/步①		ON 状态时的执行时间/μs		OFF 状态时的执行时间/μs	
		16 位指令	32 位指令	16 位指令	32 位指令	16 位指令	32 位指令
70	TKY	7	13	97.2	98.7	22.2	22.2
71	HKY	9	17	132.6	134.2	23.4	22.9
72	DSW	9	—	92.2	—	27.4	—
73	SEGD	5	—	65.0	—	6.4	—
74	SEGL	7	—	105.9	—	26.5	—
75	ARWS	9	—	134.4	—	22.1	—
76	ASC	11	—	49.5	—	6.4	—
77	PR（打印中）	5	—	114.8	—	88.5	—
77	PR（打印完成）	5	—	88.0	—	—	—
78	FROM	9	17	97.0 + 486.9n	99.0 + 962.3n	6.4	6.4
79	TO	9	17	94.1 + 556.7n	96.3 + 1098.6n	6.4	6.4
80	RS	9	—	117.6	—	18.0	—
81	PRUN	5	9	65.6 + 17.0n	67.0 + 17.7n	6.4	6.4
82	ASCI	7	—	88.2 + 10.8n	—	6.4	—
83	HEX	7	—	89.7 + 20.0n	—	6.4	—
84	CCD	7	—	90.5 + 4.8n	—	6.4	—
85	VRRD	5	—	209.7	—	27.3	—
86	VRSC	5	—	202.4	—	27.3	—
87	—						
88	PID	9	—	155.0	—	89.0	—
89	—						
110	ECMP	—	13	—	104.4	—	6.4
111	EZCP	—	17	—	124.5	—	6.4
112	—						
113	—						
114	—						
115	—						
116	—						
117	—						
118	EBCD	—	9	—	106.9	—	6.4
119	EBIN	—	9	—	81.3	—	6.4
120	EADD	—	13	—	117.4	—	6.4
121	ESUB	—	13	—	117.4	—	6.4
122	EMUL	—	13	—	96.4	—	6.4
123	EDIV	—	13	—	100.4	—	6.4

（续）

功能号	指令助记符	步数/步①		ON 状态时的执行时间/μs		OFF 状态时的执行时间/μs	
		16 位指令	32 位指令	16 位指令	32 位指令	16 位指令	32 位指令
124	—	—	—	—	—	—	—
125	—	—	—	—	—	—	—
126	—	—	—	—	—	—	—
127	ESOR	—	9	—	152. 1	—	6. 4
128	—	—	—	—	—	—	—
129	INT	5	9	67. 5	70. 4	6. 4	6. 4
130	STN	—	9	—	199. 5	—	6. 4
131	COS	—	9	—	262. 5	—	6. 4
132	TAN	—	9	—	425. 3	—	6. 4
133	—	—	—	—	—	—	—
134	—	—	—	—	—	—	—
135	—	—	—	—	—	—	—
136	—	—	—	—	—	—	—
137	—	—	—	—	—	—	—
138	—	—	—	—	—	—	—
139	—	—	—	—	—	—	—
140	—	—	—	—	—	—	—
141	—	—	—	—	—	—	—
142	—	—	—	—	—	—	—
143	—	—	—	—	—	—	—
144	—	—	—	—	—	—	—
145	—	—	—	—	—	—	—
146	—	—	—	—	—	—	—
147	SWAP	3	5	36. 1	41. 2	6. 4	6. 4
148	—	—	—	—	—	—	—
149	—	—	—	—	—	—	—
160	TCMP	11	—	134. 2	—	6. 4	—
161	TZCP	9	—	140. 2	—	6. 4	—
162	TADD	7	—	118. 8	—	6. 4	—
163	TSUB	7	—	109. 4	—	6. 4	—
164	—	—	—	—	—	—	—
165	—	—	—	—	—	—	—
166	TRD	3	—	46. 2	—	6. 4	—
167	TWR	3	—	112. 0	—	6. 4	—
168	—	—	—	—	—	—	—

（续）

功能号	指令助记符	步数/步[1]		ON 状态时的执行时间/μs		OFF 状态时的执行时间/μs	
		16 位指令	32 位指令	16 位指令	32 位指令	16 位指令	32 位指令
169	—	—	—	—	—	—	—
170	GRY	5	9	102.5	107.1	6.4	6.4
171	GBIN	5	9	103.4	107.5	6.4	6.4
172	—	—	—	—	—	—	—
173	—	—	—	—	—	—	—
174	—	—	—	—	—	—	—
175	—	—	—	—	—	—	—
176	—	—	—	—	—	—	—
177	—	—	—	—	—	—	—
178	—	—	—	—	—	—	—
179	—	—	—	—	—	—	—
224	LD =	5	9	1.52	1.84	—	—
225	LD >	5	9	1.52	1.84	—	—
226	LD <	5	9	1.52	1.84	—	—
227	—	—	—	—	—	—	—
228	LD <>	5	9	1.52	1.84	—	—
229	LD≤	5	9	1.52	1.84	—	—
230	LD≥	5	9	1.52	1.84	—	—
231	—	—	—	—	—	—	—
232	AND =	5	9	1.52	1.84	—	—
233	AND >	5	9	1.52	1.84	—	—
234	AND <	5	9	1.52	1.84	—	—
235	—	—	—	—	—	—	—
236	AND <>	5	9	1.52	1.84	—	—
237	AND≤	5	9	1.52	1.84	—	—
238	AND≥	5	9	1.52	1.84	—	—
239	—	—	—	—	—	—	—
240	CR =	5	9	1.52	1.84	—	—
241	CR >	5	9	1.52	1.84	—	—
242	CR <	5	9	1.52	1.84	—	—
243	—	—	—	—	—	—	—
244	OR <>	5	9	1.52	1.84	—	—
245	OR≤	5	9	1.52	1.84	—	—
246	OR≥	5	9	1.52	1.84	—	—
247	—	—	—	—	—	—	—

① 在 LD、LDI、AND、ANI、OR、ORI、OUT、SET、RST 指令中执行 M1536 ~ M3071 时的步数为 2 步，在 OUT、SET、RST 指令中执行 M8□□□时的步数为 2 步。

② 即使将 FEND 和 END 指令合并使用，执行时间仍仅为 END 指令的执行时间（X = 输入点数，Y = 输出点数）。

③ $28+9n$（n 为并联合流数）。

④ n 为复位点数。若无特别说明，n1、n2、m1、m2 表示说明各个应用指令的操作数数值。

参 考 文 献

［1］ 黄云龙．可编程控制器教程［M］．北京：科学出版社，2003．

［2］ 孙平．可编程控制器原理及应用［M］．北京：高等教育出版社，2003．

［3］ 阳宪惠．现场总线技术及其应用［M］．北京：清华大学出版社，1999．

［4］ 韦布．可编程逻辑控制器原理与应用（原书第5版）［M］．丑武胜，等译．北京：电子工业出版社，2005．

［5］ 阳宪惠．工业数据通信与控制网络［M］．北京：清华大学出版社，2003．

［6］ 李全利．可编程控制器及其网络系统的综合应用技术［M］．北京：机械工业出版社，2005．

［7］ 阳宪惠．现场总线技术及其应用［M］．北京：清华大学出版社，1999．

［8］ 宫淑贞，等．可编程控制器原理与应用［M］．北京：人民邮电出版社，2002．

［9］ 胡学林．可编程控制器教程：基础篇［M］．北京：电子工业出版社，2005．

［10］ 胡学林．可编程控制器教程：实训篇［M］．北京：电子工业出版社，2005．

［11］ 胡学林．可编程控制器教程：提高篇［M］．北京：电子工业出版社，2005．

［12］ 孙振强，等．可编程控制器原理及应用教程［M］．北京：清华大学出版社，2005．

［13］ 邱公伟．可编程控制器网络通信及应用［M］．北京：清华大学出版社，2000．

［14］ 张万忠．可编程控制器入门与应用实例［M］．北京：中国电力出版社，2005．

［15］ 田淑珍．可编程控制器原理及应用［M］．北京：机械工业出版社，2005．

［16］ 吴建强．可编程控制器原理及其应用［M］．北京：高等教育出版社，2004．

［17］ 常晓玲．电气控制系统与可编程控制器［M］．北京：机械工业出版社，2004．

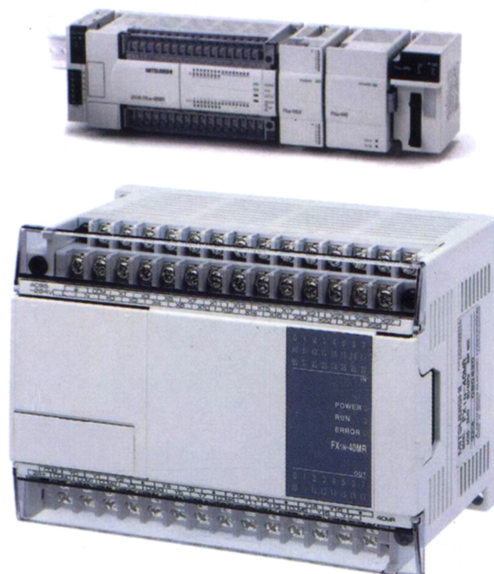
［18］ 吴明亮，等．可编程控制器实训教程［M］．北京：化学工业出版社，2005．

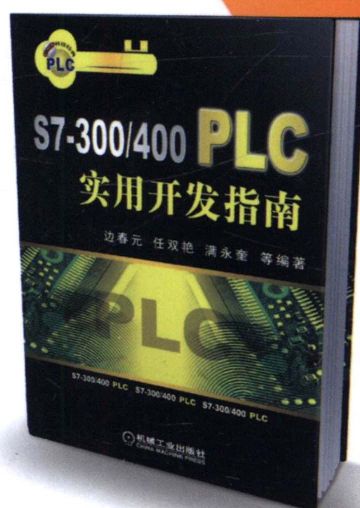
［19］ 戴一平．可编程控制器技术及应用［M］．北京：机械工业出版社，2004．

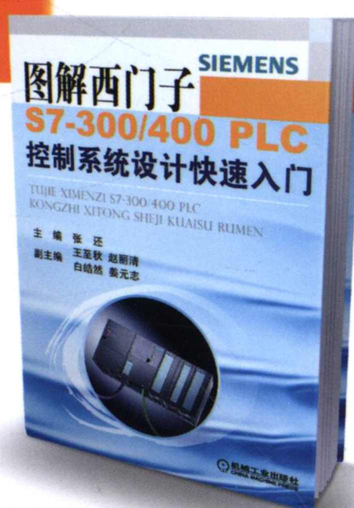
［20］ 廖常初．FX系列PLC编程及应用［M］．北京：机械工业出版社，2007．

［21］ 王阿根．电气可编程控制原理与应用［M］．北京：清华大学出版社，2007．

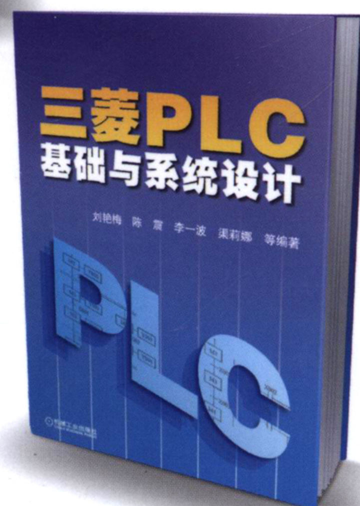
［22］ 王兆义．可编程控制器教程［M］．北京：机械工业出版社，2005．











地址：北京市百万庄大街22号
邮政编码：100037
电话服务
社服务中心：010-88361066
销售一部：010-68326294
销售二部：010-88379649
读者购书热线：010-88379203
网络服务
教材网：http://www.cmpedu.com
机工官网：http://www.cmpbook.com
机工官博：http://weibo.com/cmp1952
封面无防伪标均为盗版

上架指导 工业技术/电气工程/PLC

ISBN 978-7-111-40557-3
策划编辑◎张俊红 / 封面设计◎马精明



定价：49.80元